CARBONISATION

ET GAZOGÈNES

J. COGNARD & H. DÉRAMOND
INGÉNIEURS AGRONOMES

Sous la Direction de

René SALOMON
INGÉNIEUR E.C.P.
PROFESSEUR A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DU BOIS

Prix : 35 francs

CARBONISATION ET GAZOGÈNES

PAR

J. COGNARD & H. DÉRAMOND
Ingénieurs Agronomes

Sous la Direction de

René SALOMON
Ingénieur E.C.P.
Professeur à l'Ecole Supérieure du Bois

Pour paraître prochainement :

MANUEL PRATIQUE DE CARBONISATION

Par J. COGNARD, Ingénieur agronome

A NOS MAITRES

MM. les Professeurs VAILLANT et CAMPREDON

Visa de la censure n° 512, 6 octobre 1940

Georges. Toupet 17 Mars 1941.
Assistant aux Travaux.

AVANT-PROPOS

Nous avons dédié cette brochure en hommage personnel à nos Maîtres, MM. les Professeurs Vaillant et Campredon.

Mais nous n'aurions garde de ne point faire participer à cet hommage particulier l'ensemble du Corps des Eaux et Forêts, qui n'a pas attendu la crise aiguë des carburants liquides pour se faire le pionnier du Gaz des Forêts.

Enfin, nous remercions M. le Conservateur Barrault de sa bienveillance, ainsi que des conseils éclairés qu'il a toujours prodigués aux auteurs de cette modeste publication.

INTRODUCTION

Le problème de remplacement de l'essence par d'autres carburants a pris, ces derniers temps, un caractère d'urgence impitoyable, la vie moderne ne pouvant supporter longtemps la paralysie des moyens de transports. Parmi les diverses solutions proposées, l'une des meilleures est certainement fournie par l'emploi du gaz des forêts, parce qu'il rend possible l'utilisation presque immédiate du matériel automobile existant; mais il serait faux de ne voir là qu'une solution transitoire ou de pis aller.

Nombre d'usagers vont équiper leurs voitures pour reprendre leur activité ou certains même pour regagner leur foyer. Mais il serait erroné de croire que cet équipement n'aura qu'un intérêt momentané.

Pour les camions et certaines machines agricoles, la nécessité actuelle ne fera qu'accélérer la réalisation d'un programme prévu et réclamé depuis plusieurs années par les Pouvoirs publics; les usagers de ces véhicules se rendront vite compte par eux-mêmes des avantages qui leur seront apportés. En ce qui concerne les voitures de tourisme, les conducteurs préféreront, sans aucun doute, supporter les quelques inconvénients que leur apportera le changement de carburant à celui de rester immobiles. Car le problème de l'essence ne sera vraisemblablement pas résolu d'ici longtemps.

C'est pour cette raison que le Ministère intéressé encourage le développement des carburants forestiers. La réalisation du programme sera, d'ailleurs, d'autant plus aisée que le schéma général en était antérieurement tracé. Les efforts déployés par le Corps des forestiers, par les Ser-

vices du Ministère de l'Agriculture, par les entreprises privées, n'auront pas été vains. Car il ne suffit pas d'équiper les voitures avec des gazogènes; encore faut-il assurer le ravitaillement en combustible, le répartir tout au long de notre réseau routier. Or, ce problème est résolu depuis plusieurs années déjà et a fait ses preuves. Il ne reste plus qu'à lui donner l'ampleur nécessitée par la situation présente.

PREMIÈRE PARTIE

CARBONISATION

Cette partie n'a pas seulement pour but de répondre aux questions qui se posent à l'usager du gazogène, à savoir : Quelles sont les qualités du bois ou du charbon de bois pour gazogène? Comment fabrique-t-on ces divers carburants? Comment choisir entre eux? Elle tend également à donner des renseignements sommaires, mais utiles, sur les problèmes de production, sur la rentabilité des exploitations qui pourraient être entreprises dans ce domaine

Mais, en premier lieu, il nous faut envisager le problème qui domine tous les autres : la forêt française est-elle en mesure d'assurer le ravitaillement des gazogènes dont se munissent bien des voitures ou des camions?

Production et possibilités de production de la forêt française

La forêt française couvre plus de 10 millions d'hectares qui appartiennent soit à l'Etat (forêts domaniales), soit aux communes (forêts communales) et établissements publics, soit à des particuliers (forêts privées).

Suivant leur destination, on distingue plusieurs catégories de bois, parmi lesquels le bois de feu, le seul utilisé et utilisable rationnellement pour alimenter les gazogènes.

Or, par suite de la dissémination des forêts sur tout le territoire, le problème de l'approvisionnement en bois de feu est et restera encore longtemps un problème régional et même local; ce qui signifie que les conditions actuelles imposées à la France, et particulièrement la division en deux zones, n'influera que peu ou pas du tout sur le problème de l'approvisionnement des gazogènes en carburants forestiers.

La production française en bois de feu se répartissait avant-guerre comme suit :

Forêts domaniales	2.600.000	stères.
Forêts communales	6.400.000	—
Forêts privées	21.000.000	—

Des estimations contrôlées ont permis de constater que, sur ces 30 millions de stères au total, 11 millions de stères étaient annuellement perdus par suite soit du manque

de preneurs, soit du manque de main-d'œuvre pour en débarrasser les coupes.

Or, ces 11 millions de stères utilisés dans les gazogènes équivaudraient à plus de 600.000 tonnes de charbon de bois, soit le remplacement d'environ 500.000 tonnes d'essence.

Voici donc une quantité de bois immédiatement disponible, qui permettra d'assurer le ravitaillement des gazogènes nouvellement montés.

Rappelons, en outre, qu'au Congrès du carbone végétal de Lyon, M. Colomb, actuellement directeur des Eaux et Forêts, assurait, dans son rapport, que la seule exploitation normale des forêts métropolitaines pouvait fournir 1.200.000 tonnes de charbon de bois, auxquelles on pourrait ajouter 300.000 tonnes provenant de la carbonisation des rémanents (brindilles, rameaux).

Mais le problème actuel est beaucoup plus vaste. Les bois de feu ne trouvant pas acquéreurs, les propriétaires de forêts se sont, tout naturellement, désintéressés de cette destination et, par conséquent, n'envisageaient nullement l'accroissement de leur production. Or, les conditions sont maintenant renversées. Grâce au gazogène, le bois de feu acquiert une certaine valeur; le propriétaire soucieux de ses intérêts, non seulement cherchera à augmenter le rendement de son taillis, ce qui lui est, d'ailleurs, imposé par le Gouvernement, ou l'utilisation complète de tous les rémanents de sa forêt, mais encore il est fort probable qu'il s'efforcera, secondé en cela par le corps des officiers des Eaux et Forêts, de faire du reboisement, reboisement dont on connaît, par ailleurs, toutes les heureuses influences.

D'autre part, comme nous l'envisageons par la suite, divers charbons de bois (agglomérés et charbons obtenus par distillation en vase clos) permettent, par leur meilleur rendement, une utilisation plus complète du bois.

Enfin, récemment, les Pouvoirs publics se sont saisis de la question des gazogènes et ont, provisoirement, réglementé le nombre des équipements.

En conclusion : 1° Des réserves intactes de bois permettront d'obtenir rapidement du charbon de bois, ce qui rendra possible la mise en route des nouvelles voitures à gazogène.

2° Les Pouvoirs publics, en limitant le nombre des voitures, veulent éviter une crise du charbon de bois, crise qui ne manquerait pas de se produire du fait même que l'adaptation d'un gazogène sur une voiture a lieu dans un temps très court, alors que l'organisation de la production des carburants forestiers, dans son ensemble, demandera un certain laps de temps. Mais il est certain qu'une meilleure utilisation des bois de feu, qu'un meilleur rendement de la carbonisation et qu'un reboisement bien compris permettront aux Pouvoirs publics de reporter la limite fixée du nombre des véhicules beaucoup plus haut, sans qu'il en résulte aucun dommage pour la forêt française.

La forêt productrice de bois de feu

PRINCIPES FORESTIERS ELEMENTAIRES

La plupart des forêts d'une certaine importance sont aménagées, ce qui signifie que leur développement en est suivi, en vue de fournir un revenu adapté aux besoins de l'homme (du ménage).

Les diverses sortes de forêts se rattachent à quelques types simples qu'il est nécessaire de connaître. La classification repose sur le mode de régénération qui peut être soit par semis, soit par rejets de souches. Le premier mode conduit au régime de la futaie; le second, au régime du taillis. Enfin, le mode de régénération peut être mixte, ce qui conduit à la forme du taillis sous futaie.

1° **La futaie.**

Les graines provenant des arbres mûrs, avant l'abatage, tombent sur le sol, germent et donnent de nouveaux sujets qui seront susceptibles de fournir, au bout d'un temps plus ou moins long, du bois d'œuvre. La futaie peut être régulière ou jardinée selon que les diverses parcelles de la forêt sont constituées d'arbres ayant sensiblement le même âge ou, au contraire, de tout âge.

2° **Le taillis.**

Lorsqu'on abat un arbre feuillu « à blanc étoc », c'est-à-dire en le coupant au niveau du sol, la souche émet des bois que l'on désigne sous le nom de « rejets ». Ces rejets poussent vite, mais donnent souvent des sujets mal

conformés qui ne peuvent vivre longtemps, d'où leur utilisation normale comme bois de chauffage. Aussi peut-on définir le taillis comme un peuplement de bois feuillus (car les résineux ne rejettent pas de souche) dont les sujets sont coupés à ras de terre tous les vingt ou trente ans, quelquefois même à quarante ans.

Le taillis peut être simple, c'est-à-dire formé de sujets de même âge, ou fureté, auquel cas il est à deux étages; mais cette dernière forme est très rare.

3° **Le taillis sous futaie.**

Le taillis sous futaie est formé de deux étages : l'étage dominant, constitué d'arbres bien conformés, issus principalement de semences, qui ne seront exploités que tardivement et fournissant des bois d'œuvre; selon l'âge atteint, ces arbres sont désignés sous les noms de baliveaux modernes, anciens; d'autre part, l'étage inférieur, dont les sujets issus surtout de rejets de souche forment le taillis, qui sera périodiquement exploité.

Ce dernier mode de peuplement représente, à lui seul, les deux tiers de la surface boisée. Quant au taillis simple, c'est la forme la plus fréquente des forêts privées, par suite du revenu, souvent plus élevé, qu'il procure à l'exploitant.

PRODUCTION DES DIVERS TYPES DE FORETS EN BOIS DE FEU

Au cours des années précédentes, le bois de feu avait beaucoup perdu de sa valeur et même, comme nous l'avons indiqué, une quantité importante de ce bois restait inutilisée faute d'acquéreurs.

L'extension des voitures à gazogène amènera certes, une juste revalorisation de tous les menus bois, mais il ne faudrait pas tomber dans l'autre extrême qui consisterait à vouloir faire du bois à brûler ou du charbon de

bois avec n'importe quelle partie de l'arbre. Le gaz des forêts doit rester un carburant bon marché et, d'autre part, le bois a d'autres rôles à remplir.

Ceci admis, voyons ce qui convient au gazogène, dans les divers types de forêts.

1° La futaie.

L'entretien de la forêt entraîne des coupes dites d'amélioration, au cours desquelles se trouvent éliminés les sujets de moindre valeur, sujets qui fourniront une quantité importante de bois de feu et, par conséquent, de bois carburant.

Lors de l'abatage des sujets ayant atteint l'âge d'exploitabilité, les branchages des arbres (le houppier) auront la même destination.

2° Le taillis (simple ou sous futaie).

En raison de la révolution rapide imposée au taillis, les sujets sont, lors de l'abatage, de dimensions relativement faibles et tout le bois peut être utilisé comme combustible.

D'une façon générale, c'est le taillis qui constitue la source la plus importante des bois destinés au gazogène.

ACHAT DE COUPES

L'achat de coupes est différent selon que la forêt est soumise ou non au régime forestier.

1° Forêts soumises au régime forestier.

L'aménagement forestier prévoit, comme nous l'avons vu : *a*) des coupes d'amélioration; *b*) des coupes de réalisation de produits principaux.

Il est essentiel de savoir que, dans la majorité des cas, la vente se fait en bloc et concerne les bois sur pied.

Cette vente, qui est rendue publique par voie d'affiches, se fait par adjudication au rabais, ce qui signifie que le

prix de départ est toujours supérieur à la valeur réelle de la coupe et que le commissaire diminue graduellement les prix jusqu'à ce qu'un acquéreur se décide à prendre le lot.

Le lot ainsi acquis concerne soit la totalité des bois d'une parcelle (taillis et quelquefois futaie régulière), soit une partie seulement, chaque fois qu'il est nécessaire de conserver certains sujets (futaie jardinée, taillis sous futaie).

Lorsqu'il s'agit de la futaie, l'acheteur reçoit donc un lot d'arbres de fortes dimensions. Ces arbres lui fourniront des bois de différentes catégories :

Le fût donnera du bois d'œuvre;

Le houppier donnera, en majeure partie, du bois de feu dont la presque totalité sera susceptible d'être carbonisée en meules ou dans les fours.

Du taillis, au contraire, tout sera utilisable comme bois de feu, avec une forte proportion — et parfois même la totalité — carbonisable.

Quant au rendement, il est extrêmement variable; il dépend, non seulement de l'âge et de l'essence, mais également du sol, du climat et de l'exposition. C'est ainsi qu'un taillis de vingt ans peut donner, selon les cas, des rendements de 5 à 250 stères à l'hectare.

En cette matière, on ne peut donc fournir que des chiffres moyens. Les valeurs indiquées dans le tableau ci-après ne constituent, par conséquent, que des ordres de grandeur :

AGE DU TAILLIS	RENDEMENT A L'HECTARE	
	Bois durs	Bois tendres
10 ans........	20 à 30 stères	20 à 30 stères
15 —	40 à 60 —	40 à 60 —
20 —	60 à 80 —	80 à 110 —
25 —	90 à 120 —	100 à 160 —
30 —	110 à 180 —	120 à 200 —

Enfin, l'acheteur d'une coupe de taillis sous futaie reçoit, en même temps, plusieurs catégories de bois : le taillis proprement dit, ainsi que les réserves que l'on décide de ne plus conserver.

2° Forêts soumises au régime forestier.

L'achat des coupes est complètement libre; il porte, dans la majorité des cas, sur du taillis.

CUBAGE DES COUPES

Les publications dressées lors des adjudications portent généralement, parmi d'autres renseignements, le cubage approximatif du bois. Dans bien des cas, cette estimation est suffisante, bien qu'établie suivant des barèmes qui sont les mêmes pour toutes les forêts. Signalons qu'il existe une corporation spécialisée dans cette évaluation, celle des « commis en bois », formée d'experts en la matière. De toutes façons, le cubage des bois d'une forêt exige toujours un soin assez grand. Par contre, le houppier, en raison de sa faible valeur, est apprécié au jugé, selon un pourcentage du cube de l'arbre, variable avec l'essence, le type de forêt, etc.

Le houppier fournit une importante proportion de bois carbonisable; mais, actuellement, il reste souvent inutilisé, surtout lorsqu'il s'agit de bois résineux.

Enfin, lorsqu'il s'agit du taillis, le cubage se fait surtout au jugé avec, pour se guider, la connaissance de ce qu'a fourni la coupe voisine.

ABATAGE DES BOIS

Une fois l'achat de la coupe effectué, c'est à l'adjudicataire, devenu propriétaire des bois de la coupe, que revient la charge de faire abattre les arbres et de vidanger les bois. C'est donc lui qui doit constituer l'équipe de bûcherons destinés à ce travail et qui est responsable de l'enlèvement des bois.

Lorsqu'il s'agit d'une forêt non soumise au régime forestier, c'est encore l'acheteur qui doit s'occuper de l'abatage des arbres si le marché a porté sur des bois sur pied.

PREPARATION DU BOIS EN VUE DE SON UTILISATION DANS LES GAZOGENES

Lorsque le bois est fraîchement coupé, sa teneur en eau (d'ailleurs variable avec l'époque d'abatage, le climat, le sol...) est toujours élevée; elle dépasse souvent 40 à 50 % en poids.

A quelques exceptions près, le bois doit être séché avant son utilisation, soit directe, soit en vue de la carbonisation. Ce but est atteint, dans la pratique, en empilant les rondins ou les branchages sur la coupe même, de telle sorte que l'aération se produise facilement, et en les y laissant six ou huit mois. A noter que la pluie n'est nullement contraire au séchage; elle contribue, en effet, bien qu'imparfaitement, à dessever le bois et un bois dessevé sèche plus rapidement. Une seule précaution à prendre (mesure d'ailleurs générale lorsqu'il s'agit du séchage) : ne pas mettre les bois directement au contact du sol humide, afin d'éviter la pourriture; un bois pourri perd presque toute sa valeur, même lorsqu'il s'agit de bois de feu.

Les rondins et la charbonnette, d'une part, les branchages provenant du houppier, d'autre part, doivent être débités à certaines dimensions commerciales que l'on veuille soit transformer le bois en charbon, soit l'utiliser tel que dans le gazogène.

DIVERSES ESSENCES QUI COMPOSENT LES FORETS

On distingue, au point de vue botanique, deux grandes catégories d'essences :

1° Les feuillus.

Dans cette catégorie se placent les arbres qui, sous nos climats, perdent leurs feuilles au cours de l'hiver. Parmi eux, il est d'usage de distinguer :

Les bois durs (chêne, charme, frêne, hêtre, érable, châtaignier);

Les bois tendres (aune, peuplier, bouleau, merisier).

Distinction qui n'a rien d'absolu et qui correspond à des propriétés d'usage courant.

2° Les résineux ou conifères.

Cette catégorie englobe les arbres dont les fruits sont des cônes et dont les feuilles, dénommées aiguilles, ne tombent pas en hiver (exception faite pour le mélèze). Par exemple : sapin, épicéa, pin...

Ces diverses essences forment les forêts qui peuvent être composées soit d'une même essence (forêts de pins), soit d'un mélange (chêne et hêtre). Les unes ne se reproduisent que par semis et, par conséquent, formeront toujours des futaies (les résineux, en général); d'autres rejettent plus ou moins facilement de souche et pourront donner soit des taillis, soit des futaies (taillis de châtaigniers, de charmes; futaies ou taillis de chênes, de hêtres).

CONCLUSIONS

Le taillis fournit plus de 80 % du bois de feu, mais il ne faut pas oublier que 3 millions de mètres cubes proviennent de la futaie dont une bonne part (environ 35 %) est restée inutilisée jusqu'à ces temps derniers. L'utilisation de ce bois, sa transformation en charbon de bois, soulève quelques difficultés du fait même que l'acheteur d'une coupe de futaie acquiert celle-ci en vue du bois d'œuvre qu'elle fournit et non de la carbonisation du reste du bois de moindre valeur. Il semble, toutefois, que des accords à l'amiable soient faciles à réaliser.

La carbonisation du bois

1° DEFINITION DE LA CARBONISATION DU BOIS

La carbonisation consiste en une décomposition pyrogénée des constituants du bois qui, sous l'action de la chaleur, fournissent :

Des gaz incondensables (gaz carbonique, oxyde de carbone, carbures d'hydrogène);

Du pyroligneux (acide acétique, alcool méthylique, formol, acétone et de l'eau);

Des goudrons;

Du charbon de bois.

M. le professeur Dupont, en réalisant la distillation du bois dans un four, observa les phases suivantes : jusqu'à 170°, il ne se dégage guère que de la vapeur d'eau; ensuite, la décomposition est réduite avec légère émission de gaz carbonique, d'oxyde de carbone et de pyroligneux; vers 300°, la réaction d'endothermique devient exothermique, et, à partir de ce moment, la décomposition est très rapide, avec dégagement des divers produits énumérés ci-dessus. Enfin, au-dessus de 400°, il ne se dégage plus que des gaz à pouvoir calorique élevé.

Ce sont ces divers phénomènes de décomposition endothermique d'abord, ensuite exothermique, que nous retrouverons dans les divers procédés de carbonisation.

2° CATEGORIES DE BOIS A CARBONISER

Comme nous l'avons précédemment dit, il ne peut s'agir que de bois de feu; mais, d'autre part, tout bois de feu n'est pas apte à être carbonisé.

On désigne, sous l'appellation de « bois de feu », plusieurs catégories de produits :

En premier lieu, le « bois de corde », constitué de bûches rondes ou fendues, ayant plus de 30 centimètres de tour, c'est-à-dire plus de 10 centimètres de diamètre environ.

En second lieu, la « charbonnette », bois plus petit ayant entre 30 et 15 centimètres de tour, soit 10 à 5 centimètres de diamètre.

Enfin, les « fagots » ou « bourrées », constitués de menus branchages et de ramilles.

Pour être complet, il faut y ajouter les « rémanents » qui, spécifiquement, désignent les copeaux d'abatage et d'équarrissage, ainsi que tout déchet d'exploitation.

Il est évidemment possible de carboniser n'importe quel bois, quel que soit son diamètre; mais, dans la pratique, c'est la charbonnette qui se prête le mieux à la carbonisation, par suite de ses dimensions réduites et de son faible prix de revient.

Viennent ensuite les fagots et bourrées, produits souvent laissés sur coupe, faute d'acquéreurs; le principal intérêt qu'ils présentent est d'être de faible valeur marchande, de même pour les rémanents. La carbonisation de ces bois ne peut être faite que dans des fours; le rendement obtenu est faible par suite de la quantité importante d'éléments trop fins; ces produits sont, par contre, tout indiqués pour la fabrication des agglomérés.

Ce n'est qu'en tout dernier lieu qu'on doit songer à carboniser les bois de corde. Ils exigeront, en effet, des opérations coûteuses de refente avant traitement et de concassage après; en outre, leur prix de revient est élevé.

CARBONISATION EN FORET

Pendant de longues années, le seul mode de carbonisation connu était celui des meules. Pour remédier à la diminution du personnel spécialisé naquit le four métallique et, plus récemment, des appareils mobiles de distillation en forêt.

Nous allons étudier ces divers procédés de carbonisation et, dans la mesure du possible, les comparer entre eux. Mais, auparavant, il est indispensable de dire un mot du conditionnement du bois.

A. — CONDITIONNEMENT DU BOIS

Que le bois soit destiné à être utilisé directement dans le gazogène ou carbonisé, il faut qu'il ait subi deux opérations : le séchage et le découpage.

Le séchage peut être obtenu simplement en laissant le bois sur coupe pendant six ou huit mois, comme il est généralement pratiqué. Si l'on veut obtenir plus rapidement cet état, il est intéressant de tronçonner les bois dès l'abatage, soit à la hache ou à la scie, soit à l'aide de machines facilement transportables (tronçonneuses, découpeuses); mais, plus le bois est humide, moins il est facile à travailler.

La question du séchage est importante du fait que la carbonisation du bois vert est délicate (mis à part le chêne yeuse ou chêne vert qui peut être carbonisé après deux semaines de coupe).

D'une manière générale, le séchage est indispensable lorsqu'il s'agit de bois dur ou résineux. Néanmoins, des essais sont actuellement effectués pour carboniser toutes sortes de bois verts. Pour les bois durs, il paraît possible de les carboniser même lorsqu'ils sont humides; telles sont, du moins, les conclusions d'essais effectués en Suisse où la carbonisation de bois vert a donné, dans certains cas, des rendements très élevés (plus de 100 kilos de charbon au stère de bois); d'aucuns prétendent cepen-

dant que cette augmentation du rendement est obtenue au détriment de la qualité du charbon.

Si le tronçonnage n'a pas été pratiqué avant séchage, le travail est plus aisé à faire, soit à la hache, à la scie à main ou à la scie circulaire, soit à l'aide de découpeuses.

Ces découpeuses sont conçues selon deux principes :

1° La découpeuse proprement dite (par exemple la scie Gloppe) se compose d'une scie circulaire montée sur excentrique. Les bois, amenés par rouleaux, sont tronçonnés de la même façon qu'ils le seraient par une scie à main. Ces appareils sont surtout destinés à découper du bois sec (fig. 1).

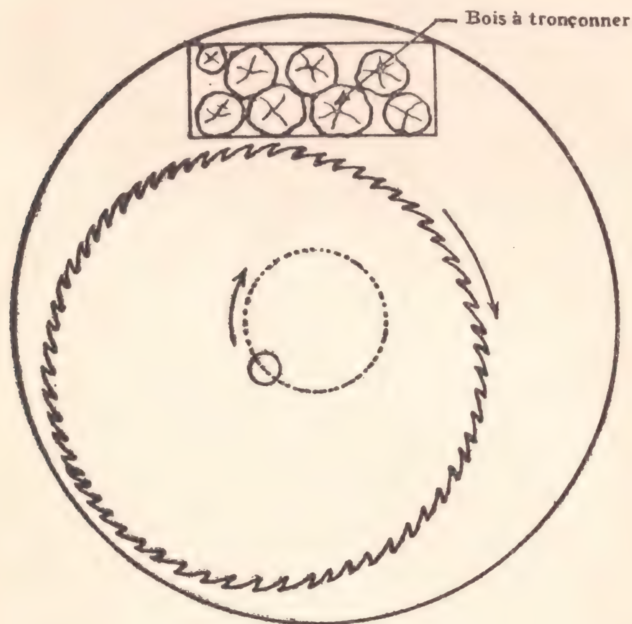


Fig. 1.

Principe de la scie GLOPPE

2° Les découpeuses en biseau (par exemple la découpeuse J.D.). La partie coupante est formée de deux couperets montés à chaque extrémité d'une barre rigide; cette barre est animée d'un mouvement rapide de rotation autour d'un axe perpendiculaire en son centre; le bois, amené d'une façon continue, est successivement atteint par les couperets qui jouent en quelque sorte le rôle d'une hache; si le chemin d'amenée est oblique par rapport à la surface engendrée par le bras mobile, la section du bois sera elle-même oblique, ce qui facilitera le séchage et diminuera, en outre, la puissance absorbée au moteur (fig. 2).

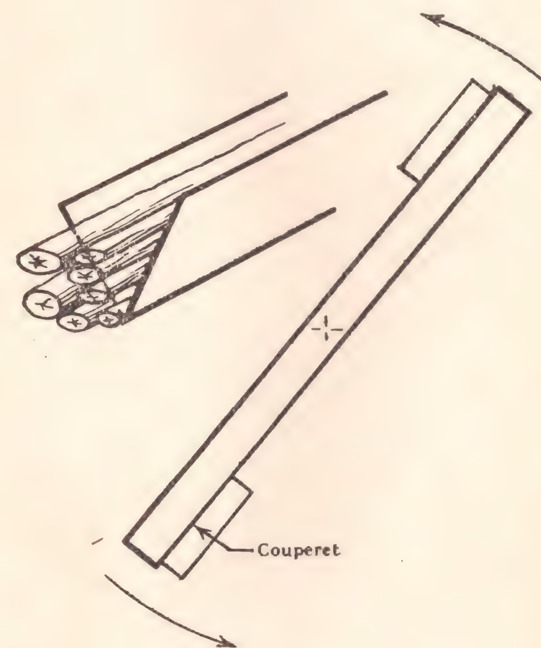


Fig. 2.

Principe de la Super-Découpeuse J. D.

Lorsqu'il s'agit de débiter le bois en vue de son utilisation directe dans les gazogènes, on utilise également des découpeuses dont certaines ont un débit de 10 tonnes à l'heure, pour une puissance au moteur de 8 à 10 CV., capables de travailler le bois vert aussi bien que le bois sec.

B. — PROCEDE DES MEULES

La campagne de carbonisation est conditionnée avant tout par le climat. En plaine, elle commence à l'automne; en montagne, au contraire, on ne carbonise guère que durant la belle saison.

Le charbonnier choisit avec soin les emplacements où s'élèveront les meules; parfois même, si la pente est trop forte, il est obligé de construire une aire à flanc de montagne qui reposera en partie sur des pieux de soutènement.

L'art ancestral de construire une meule présente bien des modalités, d'autant plus que la main-d'œuvre est souvent étrangère; mais le principe de dressage des bois est sensiblement le même : d'une part, une cheminée centrale formée de petit bois, facilement inflammables; d'autre part, la masse du bois à carboniser, dont les éléments (de 66 centimètres ou 1 mètre ou 1 m. 10 de longueur) sont dressés verticalement, quelquefois même horizontalement, en deux ou plusieurs étages. Ce travail exige une certaine habileté, car il est nécessaire d'obtenir une bonne homogénéité, afin que la propagation du feu se produise régulièrement et que l'affaissement de la meule au cours de la cuisson soit progressif.

Le charbonnier recouvre alors la meule ainsi constituée d'une couche de feuilles et d'herbes, parfois de mousse, puis l'ensemble d'une couche de terre.

C'est alors que commence la cuisson. Le charbonnier allume la meule en projetant dans la cheminée de la braisette et des menus bois.

La carbonisation s'effectue de haut en bas; lorsque les bois formant la cheminée se trouvent portés à une température voisine de 300°, le phénomène exothermique se déclenche; c'est à ce moment que l'on ferme l'orifice supérieur. Les gaz ne trouvant plus d'issue vers le haut de la meule sont refoulés en sens inverse, réchauffent les couches inférieures du bois et brûlent au contact de l'air qui pénètre par le bas de la meule. Les gaz brûlés sortent sur tout le pourtour de la meule à un niveau de plus en plus bas (fig. 3).

Ainsi, une fois amorcée, la carbonisation se continuera d'elle-même et le travail du charbonnier se bornera à un rôle de surveillance; ce qui ne signifie d'ailleurs pas que ce rôle soit aisé; c'est, en effet, d'une surveillance active qu'il s'agit; il faut constamment fermer certains évents, en ouvrir d'autres à mesure que la carbonisation s'avance ou que le vent change de direction; recouvrir les fissures qui se forment à la surface de la meule, afin d'éviter des rentrées d'air supplémentaires. Et, pour se guider, le charbonnier n'a que la présence des fumées, dont la densité, la couleur, le volume, lui indiquent la bonne marche, puis la fin de la carbonisation.

Ainsi donc, construire une meule et savoir la conduire est un art qui ne s'acquiert que par une longue habitude. C'est, en outre, un travail pénible, puisque la seule opération de cuisson dure plusieurs jours d'affilée. Il est rare, d'ailleurs, que l'on ne fasse qu'une seule meule, et c'est généralement plusieurs meules que conduit, en même temps, une équipe de charbonniers.

Une fois la cuisson terminée, le charbonnier laisse refroidir la meule une journée ou plus, suivant l'importance de celle-ci; puis il dégage le charbon de bois et l'étend à terre pour le laisser refroidir complètement avant la mise en sacs.

Les critiques faites au procédé de meule sont nombreuses.

Tout d'abord, il exige un personnel spécialisé qui se

fait de plus en plus rare. Ainsi le renouveau donné à la fabrication du charbon de bois se heurterait certainement au manque de main-d'œuvre si l'on ne disposait que de ce seul procédé. Mais il est un inconvénient plus grave : Comme nous le verrons par la suite, le gazogène exige un carburant présentant une certaine constance de propriétés; or, la qualité du charbon de meules dépendra de la plus ou moins grande habileté du maître charbonnier, ainsi que des aléas, souvent nombreux, survenus en cours de carbonisation; pour les usages domestiques, l'importance est minime; pour la combustion dans un gazogène, elle n'est pas négligeable. De plus, le charbon de bois obtenu dans ces conditions n'est pas toujours propre; la couche de terre devenue pulvérulente s'est affaissée peu à peu, en cours de cuisson, et une partie se retrouve dans le charbon. Certains charbonniers terminent même le refroidissement en mélangeant progressivement la poussière du charbon.

Est-ce à dire que la meule soit condamnée? Nullement. Car elle présente des avantages indiscutables. D'abord, elle se construit sur la coupe même; ensuite, elle n'exige aucun matériel spécial, plus ou moins encombrant, ce qui, dans une époque où le ravitaillement en matières premières est difficile, prend une grande importance; un râteau, une pelle, un crible sont les seuls outils indispensables. Enfin, la capacité d'une meule est très variable; suivant l'étendue de la coupe exploitée et les facilités de transport, on peut construire des meules de 20, de 30 et même, dans certains cas, de 50 stères; en un mot, la capacité d'une meule se plie aux différents éléments (quantité de bois, emplacement, nombre de charbonniers, rapidité d'exécution) qui conditionnent la carbonisation.

Rendement.

Le rendement d'une meule dépend de nombreux facteurs : de l'essence du bois, de l'habileté du charbonnier et même de la nature du sol.

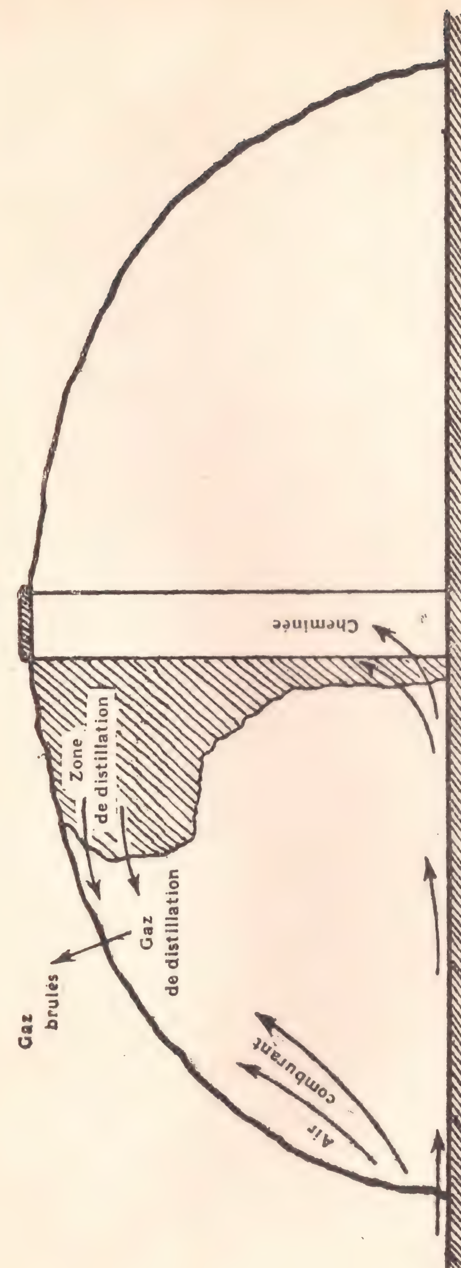


Fig. 3.

Principe de la distillation dans une meule.

En moyenne, un stère de bois fournit 70 kilos de charbon, soit un rendement de 18 à 20 % en poids; on a obtenu, parfois, des rendements de 100 kilos et plus au cours d'essais contrôlés.

Temps de préparation et de cuisson.

Pour une meule de 40 stères, on estime à treize le nombre de journées de travail, qui se décomposent de la manière suivante :

Confection de la meule..........	4 jours
Cuisson	6 —
Refroidissement	1 —
Mise en sacs....................	2 —

Le rendement d'un homme par journée de travail est d'environ 200 kilos de charbon de bois.

C. — FOURS METALLIQUES MOBILES

Pour parer au manque de main-d'œuvre spécialisée, plusieurs constructeurs ont imaginé différents types de fours métalliques dont le principe est le suivant :

Une enveloppe métallique, de forme variée (cylindrique, tronconique, prismatique, etc.), de capacité variable, composée généralement d'éléments facilement démontables, constitue le vase semi-clos où s'effectuera la carbonisation.

En somme, cette enveloppe remplace la couche de terre dont le charbonnier recouvre la meule ordinaire.

Trois remarques s'imposent, alors :

1° Cette enveloppe métallique, par sa rigidité, met le bois en carbonisation à l'abri des intempéries; la conduite de la cuisson en sera facilitée, d'autant plus, d'ailleurs, que des dispositifs spéciaux assurent une automaticité plus ou moins parfaite des rentrées d'air.

2° A l'encontre de la couche de terre, cette enveloppe n'est pas calorifuge; il s'ensuit une déperdition de chaleur appréciable. C'est toutefois un avantage lors du refroidissement.

3° Les fumées et parfois les rentrées d'air ont des orifices fixes.

Le commerce offre une grande variété de fours métalliques. Les uns sont formés d'anneaux, les autres de panneaux verticaux. La combustion peut être à tirage direct ou à tirage renversé. Enfin, certains fours présentent des systèmes assurant l'automaticité des rentrées d'air; l'un des plus récents modèles est même muni d'un thermostat. La capacité de ces fours est variable, mais elle est souvent peu élevée pour faciliter le transport des divers éléments.

Enfin, il existe certains fours destinés spécialement à la carbonisation des déchets de bois.

1° Fours métalliques courants.

Montage des fours. — En général, tous les fours sont construits de façon à être d'un montage facile, sans boulon, clavette ou appareil de serrage. L'étanchéité est obtenue, pour les fours à anneaux horizontaux, en garnissant les rainures de terre ou, mieux, de sable; pour ceux à panneaux verticaux, cette qualité est parfois moins facile à obtenir.

Dressage du bois. — Dans les fours formés d'anneaux, ou bien on commence par empiler les bois avant de placer les éléments métalliques, ou bien on empile les bois dans le four préalablement monté. Les fours formés de panneaux, au contraire, doivent être montés, au moins en partie, avant l'empilage. Bien entendu, ces détails sont fournis par les constructeurs. Ils ont une importance assez grande, car la facilité de chargement constitue un gain de temps appréciable. En outre, lorsque l'empilage

se fait avant la pose des éléments métalliques, les ouvriers ne sont pas dans l'obligation d'attendre que le four soit refroidi et vidé pour commencer le dressage des bois.

Cuisson. — Si le four est à tirage renversé, le processus de carbonisation est sensiblement le même que dans la meule. S'il est à tirage direct, les couches supérieures subissent l'action de la chaleur jusqu'à la fin de la cuisson, d'où un léger appauvrissement en carbone.

La pénétration de l'air se fait soit par des prises multiples, comme dans la meule, soit par une prise unique; dans ce dernier cas, la carbonisation est plus difficile à diriger, mais, par contre, l'automaticité de fonctionnement est meilleure.

Cette automaticité est parfois obtenue naturellement (ainsi, dans le four Magnein, si l'activité du four est trop forte, les fumées s'échappent en partie par les évents, ce qui ralentit les rentrées d'air frais); dans d'autres cas, il s'agit d'un mécanisme simple (exemple : le four « Automatic », construit par les établissements Trihan, ou les fours « Auto Stop », des établissements Carbogaz). De toutes façons, les fours métalliques permettent, dans la majorité des cas, de faire des carbonisations avec une surveillance très réduite en cours de cuisson.

Enfin, le refroidissement du charbon de bois est plus rapide dans le four que dans la meule.

Capacité des fours. — Elle est très variable. Les constructeurs offrent quelques modèles courants de fours ayant des capacités de 1 à 100 stères. Les modèles les plus courants sont de 4, 6, 7 et 10 stères environ.

Les constructeurs peuvent établir des modèles de la capacité désirée par le client, certains fours pouvant être de capacité variable par l'adjonction de viroles supplémentaires.

Rendement. — Le rendement des fours est sensiblement le même que celui des meules; souvent plus élevé,

il est des cas où il est moindre. Il varie selon l'essence de bois carbonisé, comme l'indique le tableau suivant :

Chêne vert et chêne-liège..............	125 kilos
Buis	100 —
Hêtre, charme, chêne blanc et chêne noir.	80 —
Châtaignier	65 —
Bouleau, tremble, peuplier, aune, pin...	60 —

La surveillance des fours métalliques étant très réduite, une même équipe peut conduire plusieurs fours à la fois. Ainsi, trois manœuvres peuvent, en deux jours, conduire deux batteries de quatre fours de 4 stères. Le temps mis pour une carbonisation complète est d'environ quarante-huit heures :

Chargement	3 heures
Cuisson	24 —
Refroidissement	16 —
Mise en sacs............	2 à 3 —

Le rendement homme-jour est assez variable; il peut être évalué à 3 ou 400 kilos de charbon si l'exploitation des fours est bien comprise.

Entretien des fours et durée. — Si les fours ne fonctionnent pas toute l'année, il est indispensable de les entretenir pour les garantir de la rouille. La paroi intérieure se recouvre, en cours de carbonisation, de goudron qui la protège; la paroi extérieure, au contraire, doit être enduite d'une peinture anti-rouille.

Dans ces conditions, la durée des fours est de deux à cinq ans et parfois plus.

2° Fours spéciaux.

Nous noterons, en premier lieu, le four Tunnel formé d'éléments juxtaposables. L'une des extrémités constitue le foyer; l'autre est munie d'une cheminée. La conduite de la cuisson s'obtient simplement en réglant les rentrées

d'air et le tirage de la cheminée. Le principal avantage de ce four est de pouvoir brûler les bois de toutes longueurs, ainsi que les rémanents de la forêt.

D'autre part, des constructeurs ont imaginé des fours mobiles permettant la récupération des sous-produits; il s'agit, en somme, de cornues transportables en forêt. On recueille ainsi les goudrons et les pyroligneux.

Parfois, ces fours sont réunis en batteries qui, bien que volumineuses, peuvent être transportées en forêt. Bien entendu, elles ne sont utilisables que dans des coupes importantes. Outre qu'elles permettent la récupération des goudrons et du pyroligneux, elles utilisent les gaz de distillation dégagés par le bois comme source de chaleur, ce qui fournit un rendement en charbon de bois élevé. Ce sont, en somme, des usines de carbonisation mobiles.

Leur emploi doit tenir compte, avant tout, de la valeur marchande des sous-produits de la carbonisation, valeur qui rend possible ou non la rentabilité d'une installation assez coûteuse.

Etude sommaire des trois catégories de fours métalliques.

Nous avons choisi, parmi les différentes marques, un type de four dans chaque catégorie.

1° *Four à anneaux ou viroles.* — Exemple : four Magnein (fig. 4).

L'appareil se compose de deux anneaux tronconiques s'emboîtant l'un dans l'autre, d'un couvercle muni d'un orifice central et de huit tuyaux destinés à servir, les uns d'évents, les autres de cheminées.

Les tôles utilisées ont de 1 à 2 millimètres d'épaisseur.

Le poids de chaque élément n'excède par 100 kilos.

Notons que l'appareil primitif comportait un fond mobile divisé en quatre secteurs et que l'arrivée d'air était assurée, non par quatre évents, mais par les nombreux orifices situés à la base de l'anneau inférieur. Un tel dispositif se retrouve dans certains types de fours à anneaux.

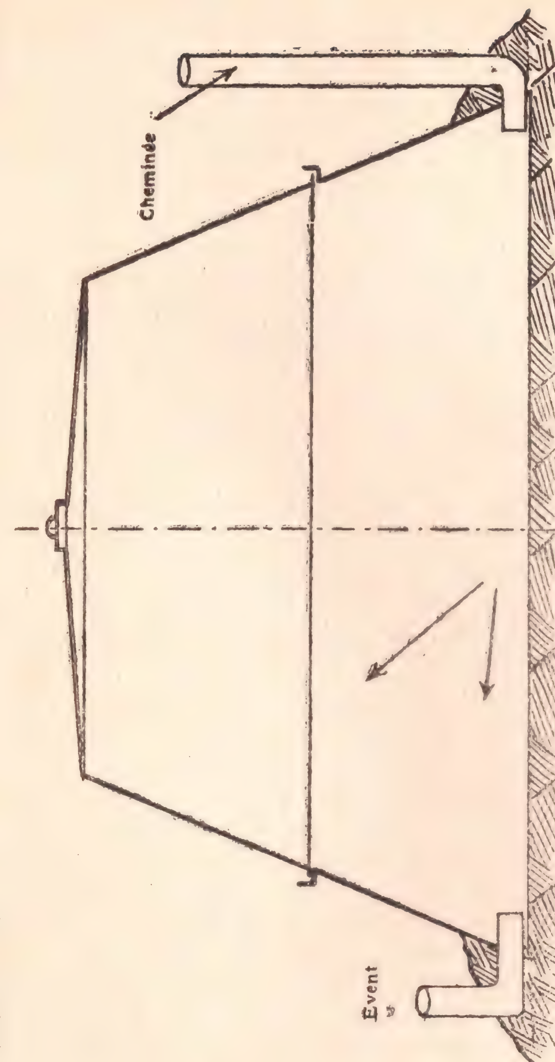


Fig. 4.
Four MAGNEIN

La capacité du four Magnein est, généralement, de quatre stères. Le dressage du bois s'effectue avant la pose de chacun des deux anneaux qui sont mis successivement en place. La cuisson dure environ vingt-quatre heures. Elle n'exige qu'une surveillance réduite une fois le four bien allumé.

Lors d'essais officiels effectués en juin 1928, deux hommes ont conduit une batterie de dix fours (la charbonnette étant amenée à pied d'œuvre); le rendement a été de 67,5 kilos par stère de bois carbonisé, et le rendement homme-jour d'environ 420 kilos de charbon (le bois carbonisé étant composé, en majeure partie, de bouleau, d'où ces rendements peu élevés).

2° *Fours à panneaux verticaux.* — Exemple : four Trihan (fig. 5).

L'appareil se compose de panneaux verticaux démontables dont l'assemblage se fait au moyen de clavettes; ces panneaux peuvent être doublés intérieurement de parois interchangeables qui protègent les parties les plus exposées au four et permettent ainsi d'en prolonger la durée.

Le poids des divers éléments n'excède pas, selon les appareils, 50 ou 90 kilos.

La capacité peut être de 4, 6 ou 10 mètres cubes. Le chargement se fait par l'ouverture supérieure, une fois les éléments métalliques mis place. Ce four est à tirage direct, c'est-à-dire que l'air pénétrant soit par des carneaux, soit par une prise d'air unique à réglage automatique, part de la périphérie pour gagner ensuite le sommet de la masse de bois et la cheminée centrale.

Le temps de cuisson dépend, évidemment, de la capacité du four : trente heures pour un four de 10 stères, vingt heures pour un four de 4 stères. Le défournement s'effectue, pour les fours de grandes dimensions, par un panneau latéral monté sur gonds; il ne nécessite pas, par conséquent, le démontage du four.

Lors des mêmes essais que ceux précédemment indiqués, deux hommes conduisaient une batterie de huit appareils de 3,5 stères chacun; le rendement n'a été que de 59 kilos par stère de bois carbonisé et le rendement homme-jour de 271 kilos (le lot de bois à carboniser était constitué en majeure partie de châtaignier et de bouleau, bois qui ne fournissent qu'un faible rendement).

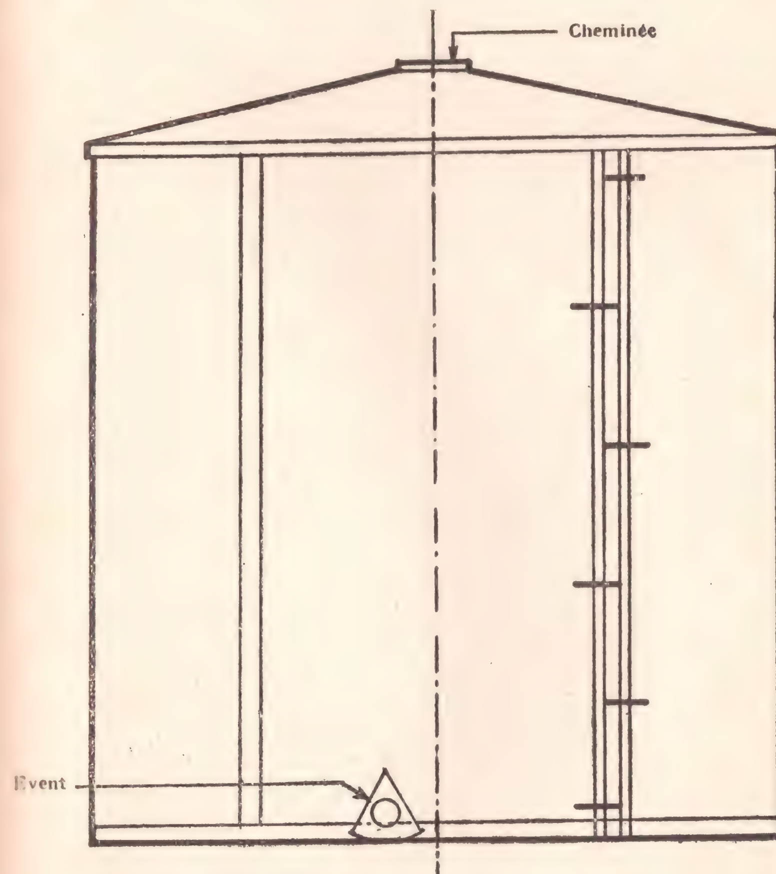


Fig. 5.

Four à panneaux verticaux TRIHAN

3° *Four Tunnel.* — Exemple : four Trihan (fig. 6).

Ce four est constitué d'éléments distincts dont la juxtaposition forme un tunnel de longueur variable.

Chaque élément se compose d'un châssis, fermé sur les côtés par des parois légèrement inclinées, et d'un couvercle mobile. On distingue :

a) Deux éléments d'extrémité qui formeront, l'un le foyer, l'autre la cheminée;

b) Deux éléments intermédiaires, de dimensions légèrement supérieures aux précédents; celui côté foyer recevra le bois d'allumage; l'autre, côté cheminée, jouera le rôle de boîte à fumée;

c) Les éléments mobiles, de mêmes dimensions que les précédents, tous identiques et munis d'évents réglables; leur nombre est plus ou moins grand, suivant l'importance que l'on veut donner au four.

On dispose les bois à carboniser horizontalement, à l'intérieur du four, avant de poser les couvercles et les bois d'allumage dans les éléments qui jouent le rôle de foyer. On assure l'étanchéité du four, puis on allume. La mise en route, une fois effectuée, la cuisson dure de quinze à trente heures, suivant l'importance du four.

Lors d'essais effectués en forêt de Sénart (1925), une batterie de deux fours, de 7 stères chacun, conduite par deux hommes, a fourni un rendement de 50 kilos au stère. Le rendement homme-jour était d'environ 200 kilos. L'avantage de ce four est qu'il ne nécessite pas le tronçonnage préalable des bois et qu'il permet de brûler tous les rémanents de la forêts, rémanents qui, par eux-mêmes, n'ont à peu près aucune valeur.

Nous avons choisi ces exemples en prenant deux marques bien connues. Mais le marché est susceptible de fournir, à l'heure actuelle, une grande variété de fours,

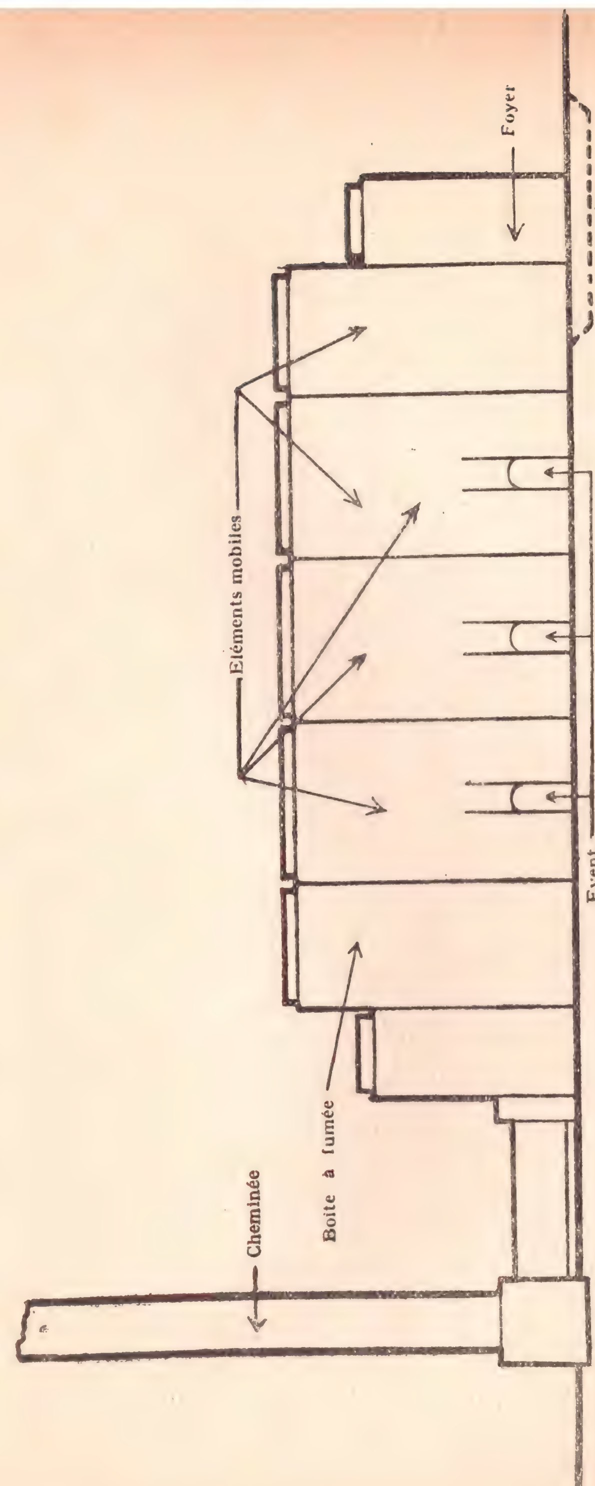


Fig. 6.
Four Tunnel TRIHAN

dont certains possèdent également bien des avantages. Parmi les différentes marques, nous mentionnerons les suivantes :

1° *Appareils à anneaux :*

Aubé,
Auto-Thermic et Forestier Standard,
Auto-Stop
Automatic,
Carbomatic,
Delhommeau,
Magnein,
Panhard,
Simplex,
Trihan,
Trinquier.

2° *Appareils à panneaux :*

Delhommeau,
Trihan.

3° *Appareils tunnel :*

Trihan.

D. — FOURS FIXES

Sous l'appellation de fours fixes, on désigne deux installations bien différentes : d'une part, le four de petites dimensions, construit en matériaux réfractaires, dont le type est le four des Charentes; d'autre part, le four de distillation proprement dit.

Le four des Charentes, d'une capacité d'environ 4 stères, ne diffère pas de la meule ou du four métallique quant à son principe et à sa conduite; il est d'ailleurs possible de lui apporter bien des améliorations, en particulier prévoir une certaine automaticité dans le tirage lors de la cuisson.

Un tel four fixe présente dans certains cas un intérêt considérable : si, par exemple, le propriétaire d'un gazogène possède du taillis, il peut ainsi assurer à peu de frais son propre ravitaillement en charbon.

Les fours de distillation relèvent, au contraire, d'un principe différent. La distillation du bois a lieu dans une cornue qui est chauffée de l'extérieur. Il en résulte un rendement en charbon plus élevé et une récupération complète des sous-produits dont une partie est ultérieurement traitée (goudrons, pyroligneux) et dont l'autre est utilisée comme source de chaleur (gaz). Le charbon ainsi produit est très pur.

Bien entendu, de telles entreprises exigent, à l'encontre des autres procédés, l'immobilisation de capitaux importants; c'est pourquoi nous ne jugeons pas nécessaire de nous étendre longuement sur ce sujet.

RENTABILITE DES EXPLOITATIONS

1° Carbonisation par meules.

L'exploitant d'une coupe met sur celle-ci une équipe de charbonniers de trois ou quatre hommes qui abat et carbonise le bois. Cette équipe est payée à la tâche, c'est-à-dire suivant le nombre de quintaux produits pris sur la coupe ou rendus sur la route.

Mais les charbonniers de métier se font de plus en plus rares; en outre, ils ne peuvent assurer, dans de telles conditions, un rendement très élevé, surtout si la coupe exploitée est située en montagne, auquel cas la carbonisation ne peut avoir lieu que durant la belle saison.

Ces considérations expliquent le succès des fours métalliques.

2° Carbonisation par fours métalliques.

Les circonstances actuelles exigent un rendement élevé et obligent l'exploitant à utiliser des fours métalliques et

parfois, si l'exploitation est assez importante, des appareils mécaniques, tels que découpeuses, concasseurs, ensacheurs, etc. Il en résulte une mise de fonds plus ou moins élevée, d'autant qu'une exploitation rationnelle prévoit toujours la marche simultanée de plusieurs fours.

a) Considérons le cas d'une petite exploitation prévoyant l'utilisation d'une batterie de quatre fours de 5 stères chacun.

La production, par quarante-huit heures, si l'on admet un rendement moyen de 80 kilos de charbon par stère de bois, sera :

$5 \times 80 \times 4 = 1.600$ kilos de charbon,

soit 800 kilos par jour et près de 5 tonnes par semaine (4,8 tonnes).

Pour assurer la marche de ces quatre fours, il faudra prévoir journellement 10 stères de bois, soit 60 stères par semaine. En supposant qu'on exploite un taillis de hêtre fournissant 100 stères à l'hectare, un hectare de surface boisée assurera dix jours de carbonisation. C'est-à-dire que, pour une année de trois cents jours de travail, la surface prospectée ne sera que de 30 hectares.

b) Une exploitation importante comporte généralement une installation dite semi-fixe, ce qui signifie que les fours à grande capacité n'auront pas à être déplacés plus de deux ou trois fois au cours de l'année.

Soit, par exemple, une batterie de six fours de 20 stères chacun, munie d'une trémie de remplissage mobile, et une découpeuse automatique de bois. Trois hommes peuvent conduire les fours, réunis en deux batteries, et tronçonner les bois amenés sur place; mais il faut, en outre, prévoir une équipe de bûcherons.

Une telle exploitation fournira par quarante-huit heures (durée de chargement, cuisson et refroidissement) :

$20 \times 6 \times 80 = 9.600$ kilos de charbon de bois,

soit environ 30 tonnes par semaine.

Le capital à investir sera, dans ce cas, beaucoup plus élevé, car, outre l'achat des fours, de la découpeuse, de

camions pour le transport, on peut prévoir une installation de concassage, tamisage et ensachage en vue de fabriquer du charbon de bois calibré pour gazogène.

Eléments du prix de revient.

Les éléments du prix de revient d'une exploitation sont les suivants :

Achat du bois sur pied,
Façonnage du bois sur coupe (main-d'œuvre),
Approche du bois,
Opération de carbonisation,
Concassage,
Transport du charbon au dépôt de stockage,
Frais d'ensachage (sacs, ficelle, étiquettes, agrafes),
Assurances incendie et accidents,
Frais sociaux (assurances sociales, caisse de compensation, congés payés),
Impôts et taxes,
Amortissement du matériel,
Frais d'entretien du matériel.

Ces éléments sont ceux du prix de revient du charbon livré à un dépôt de stockage peu éloigné de l'exploitation. Les frais de vente et le bénéfice commercial n'interviennent donc pas dans ce prix de revient brut.

Nos calculs, établis sur des cas précis, nous ont conduit à un prix de revient moyen, correspondant aux éléments indiqués ci-dessus, de 100 à 115 francs les 100 kilos.

Bien entendu, les conditions d'exploitation et les prix de base varient avec les régions. Des différences existent d'une région à l'autre pour l'achat des bois sur pied et le coût de la main-d'œuvre. La facilité d'exploitation des coupes, l'accessibilité des moyens de transport, constituent des facteurs qui peuvent influer sensiblement sur le prix de revient.

Enfin, il ne faut pas omettre de rappeler que l'organisation rationnelle du travail est le facteur le plus important de rentabilité de l'affaire.

Les carburants forestiers

1° LE BOIS

Généralités. — Le bois, comme tout organisme vivant, se compose d'un ensemble de cellules plus ou moins différenciées.

Considérons, par exemple, une branche d'arbre sectionnée en bout. On y reconnaît trois parties fondamentales : l'écorce, le liber et le bois proprement dit (fig. 7).

L'écorce, qui constitue l'enveloppe protectrice, est surtout riche en liège.

Le liber, qui représente la partie active, est riche en éléments vivants (cellules et canaux) remplis d'un liquide sirupeux, la sève élaborée. C'est le liber qui se déchire lorsqu'on écorce un branchage.

Le bois situé à l'intérieur est constitué d'éléments morts ou en voie de mortification. Si la branche considérée est assez âgée, on distingue deux zones : la zone interne, ayant souvent une coloration foncée : c'est le bois parfait; la zone externe, qui permet le passage de la sève ascendante (sève brute) : c'est l'aubier.

Composition chimique.

La composition chimique du bois, c'est-à-dire sa teneur en éléments simples (carbone, hydrogène, oxygène, azote), est *sensiblement la même pour les différents bois.*

D'une façon approchée, on peut admettre les pourcentages moyens suivants :

Carbone	50	%
Hydrogène	6	%
Oxygène	42,5	%
Azote	0,5	%

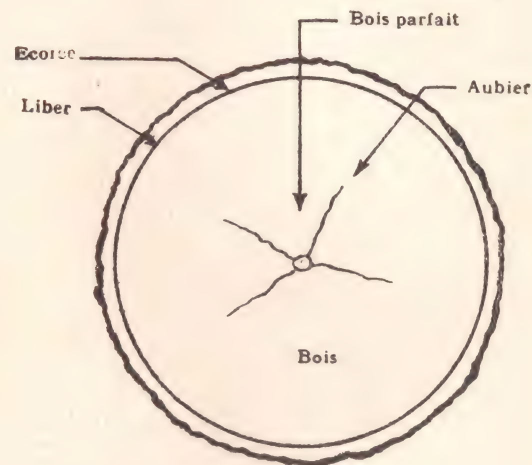


Fig. 7.

Section d'une branche.

Densité.

Les différentes essences présentent des densités variables, les bois durs étant les plus denses. Le tableau ci-dessous, dû aux travaux de M. O. Petit, indique les densités moyennes de quelques bois secs à l'air couramment utilisés comme carburants :

ESSENCES	DENSITÉ	POUVOIR CALORIFIQUE
Charme	0,770	1.650
Chêne	0,690	1.540
Erable	0,660	1.500
Frêne	0,640	1.400
Bouleau	0,620	1.390
Hêtre	0,590	1.260
Orme	0,550	1.280
Sapin	0,550	1.300
Pin sylvestre........	0,550	1.280
Aune	0,500	1.120
Epicéa	0,470	1.070
Tilleul	0,440	1.050
Peuplier	0,370	840

La question de la densité des bois joue un rôle important. Plus le bois est lourd, plus la densité de chargement de la voiture sera élevée.

Teneur en eau.

Le bois vert ne peut généralement être utilisé directement dans les gazogènes, sauf dans certains types spécialement étudiés à cet effet (gazogènes de Dion, licence Brandt).

Le gazogène ne doit recevoir que des bois dits secs à l'air, c'est-à-dire ayant une humidité de 15 % environ (1).

Inflammabilité.

Le caractère d'inflammabilité d'un morceau de bois dépend de l'essence et de la forme. Les bois résineux s'enflamment plus facilement que les bois feuillus et les bois tendres mieux que les bois durs. Par conséquent, dans les gazogènes, les bois résineux faciliteront l'allumage et les reprises. D'où l'intérêt de prévoir des mélanges d'essences.

(1) Rappelons que l'humidité d'un bois exprime le rapport $H = \frac{P_h - P_o}{P_o}$

P_h : Poids du morceau de bois dont on cherche l'humidité.
P_o : Poids de ce même morceau de bois après passage à l'étuve à 100°.

Variation d'inflammabilité également selon la forme, les arêtes, les échardes, les bois de petites dimensions s'enflamment plus rapidement, mais, par contre, se consument plus vite.

Teneur en cendres.

Le bois lui-même, c'est-à-dire la matière ligneuse telle que nous l'avons précédemment définie, ne produit qu'une proportion peu élevée de cendres, de l'ordre de 0,5 à 2 %. Par contre, l'écorce en fournit une quantité bien supérieure. D'où l'intérêt qu'il y aurait à écorcer les rondins ou branchages avant de les introduire dans les gazogènes.

Pouvoir calorifique.

Le pouvoir calorifique varie avec l'essence (voir tableau des densités). Il varie, en outre, avec l'humidité du bois, comme le fait ressortir le tableau suivant, dû à MM. Hawley et Wiss :

Bois sec..................	4.535	calories
A 15 %..................	3.780	—
A 20 %..................	3.350	—
A 30 %..................	2.770	—
A 50 %..................	1.980	—
A 66 %..................	1.110	—

Dans la pratique, on peut considérer comme moyen le chiffre de 3.000 à 3.500 calories par kilo pour un bois sec à l'air (15 à 18 % d'humidité). Il s'agit là d'un chiffre pratique souvent inférieur à la réalité.

Dimensions du bois pour gazogène.

Le bois destiné au gazogène doit être débité en morceaux de petites dimensions. Le Comité technique des carburants forestiers a préconisé, d'accord avec les constructeurs, que le morceau de bois ne présente pas de dimensions supérieures à 8 centimètres.

Les dimensions à admettre peuvent être légèrement inférieures (car il ne s'agit pas, évidemment, de valeurs absolues), mais il est à déconseiller d'utiliser dans un gazogène à bois (à moins de spécifications précises du constructeur) des déchets tels que sciures ou débris d'écorce.

2° LE CHARBON DE BOIS

Le charbon de bois, obtenu par quelque procédé que ce soit, conserve la structure même du bois dont il provient. C'est en vertu de cette propriété qu'il est possible, dans bien des cas, d'identifier un charbon de bois. Bien plus, les qualités d'un charbon découlent, pour une grande part, de l'essence utilisée : un bois dur fournira un charbon dense; un bois présentant une zone poreuse importante donnera un charbon poreux et, par conséquent, à forte réactivité, etc.

Il y a donc lieu, lors de la carbonisation, de choisir avec soin les essences les meilleures et, d'une façon générale, les bois durs ou résineux.

Composition chimique.

Elle dépend de l'essence traitée et du mode de carbonisation. Pour un charbon provenant d'un four métallique, on peut donner les chiffres moyens suivants :

Carbone	80 %
Matières volatiles..................	9 %
Cendres	1 %

La teneur en carbone croît selon que la carbonisation est faite en meule, dans les fours métalliques ou en vases clos.

Densité.

La densité d'un charbon de bois est conditionnée par l'essence et par la partie du bois carbonisée. Un bois à grain fin fournira un charbon plus dense et plus lourd. De même, la qualité d'un charbon provenant du bois parfait sera supérieure à celle d'un charbon provenant de l'aubier.

De cette densité dépend la capacité de chargement d'un véhicule et, par suite, son rayon d'action.

Friabilité.

Cette propriété, difficilement chiffrable, exprime la plus ou moins grande aptitude d'un charbon à donner des poussières; celles-ci sont nuisibles à la bonne marche d'un gazogène par leur rôle néfaste sur la gazéification. En outre, elles obstruent rapidement les filtres et rendent, par suite, les nettoyages plus fréquents.

Pureté.

Un charbon de bois doit être propre, c'est-à-dire ne pas contenir de terre, ce qui risque de se produire lors de la carbonisation en meules. Il ne doit pas contenir non plus d'incuits, c'est-à-dire de morceaux de bois insuffisamment carbonisés; ceci produirait, dans le gazogène, des goudrons et des pyroligneux; or, un gazogène à charbon de bois ne possédant pas un système d'épuration aussi complet que celui d'un gazogène à bois, ces produits risquent d'encrasser le moteur avec tous les inconvénients que cela comporte.

De tous les charbons de bois, ce sont certainement ceux obtenus par distillation en usine qui présentent les meilleures garanties de pureté.

Teneur en eau.

La teneur en eau du charbon de bois doit être faible et ne pas dépasser 10 %. Le charbon de bois absorbant rapi-

dement l'humidité de l'air, il est indispensable de le conserver dans des endroits bien secs.

Inflammabilité.

L'inflammabilité du charbon de bois est conditionnée par sa porosité. Elle dépend, en outre, pour une grande part, de l'essence. Le charbon provenant de résineux s'enflamme avec plus de facilité. Enfin, cette propriété dépend également du mode d'obtention; les charbons de distillation présentent, sous ce rapport, des qualités remarquables.

Teneur en cendres.

La teneur en cendres d'un charbon de bois est fonction, avant tout, de la proportion d'écorce de bois qui l'a produit. Un charbon de bois écorcé fournit à peine 1 % de cendres; non écorcé, il en produit 5 % et plus.

Rappelons que de la proportion de cendres dépend la plus ou moins grande production de mâchefer qui se forme dans le foyer du gazogène et qui risque de créer des incidents de marche. Cette proportion doit donc être la plus faible possible.

Pouvoir calorique.

Le pouvoir calorique du charbon, variable avec les essences et le mode de carbonisation, est d'environ 7.500 calories par kilo.

Dimensions.

Les dimensions sont généralement imposées par le constructeur.

Gohin-Poulenc	8 à 25 mm.
Panhard	30 à 70 —
Carbogaz	25 à 40 —
Sabatier-Decauville	25 à 40 —

3° LES CARBURANTS FORESTIERS SPECIAUX

A) Les agglomérés de charbon de bois.

Fabrication. — Le bois est, tout d'abord, déchiqueté, ce qui signifie que même les déchets de bois et tout ce qui forme les rémanents de la forêt pourront être utilisés. La distillation est opérée dans des cornues. Puisque cette opération se passe en usine, on recueillera les sous-produits, et les gaz dégagés seront eux-mêmes utilisés comme source de chaleur. Le charbon est ensuite finement broyé, aggloméré sous pression avec des goudrons et recuit.

Le rendement est très élevé, presque le double de celui obtenu par des procédés de carbonisation en forêt.

Les agglomérés présentent une certaine supériorité sur le bois ou le charbon de bois. Il en existe plusieurs types, de nombreux essais ayant été tentés. Nous ne parlerons ici que du plus connu : *la carbonite*, fabriquée à la Poudrerie de Sevran-Livry.

Cet aggloméré est livré sous forme de boulets de petite dimension. Son poids spécifique élevé, plus grand que l'unité, permet une densité de chargement de véhicule trois à quatre fois supérieure à celle du charbon de bois ordinaire, donc un rayon d'action lui-même au moins quadruplé.

La carbonite a sensiblement la même pureté que le charbon obtenu après distillation, c'est-à-dire qu'elle est constituée de carbone presque pur.

Elle est beaucoup moins friable que le charbon de bois ordinaire et résiste, par conséquent, mieux aux chocs.

A sa sortie de l'usine, la carbonite présente une teneur en eau extrêmement faible; l'une de ses propriétés les plus intéressantes est de ne pas reprendre d'humidité comme le charbon de bois ordinaire, d'où une grande facilité de stockage. Des expériences ont même été faites pour utiliser, dans le gazogène, des boulets qui avaient été trempés dans l'eau quelques minutes auparavant.

L'inflammabilité de ces agglomérés est supérieure à celle du charbon de bois; en outre, les boulets continuent à brûler dans le foyer, même quand le moteur tourne au ralenti, pendant un laps de temps assez long.

La teneur en cendres est extrêmement faible en raison même de la pureté de ces carburants; donc il n'y a pas à craindre la formation de mâchefer dans le foyer.

Leur prix de revient est plus élevé que celui du charbon de bois en raison des manipulations nombreuses lors de la fabrication.

B) **Le bois torréfié ou charbon roux.**

Les études entreprises par le professeur Dupont ont montré l'importance de ce carburant dont les principaux avantages ont été résumés par l'auteur de la manière suivante :

1° Le charbon roux est solide, peu hygroscopique, dense, d'une manipulation aisée et propre;

2° Il donne le rendement théorique maximum par rapport au bois initial;

3° Il donne un gaz dont le pouvoir calorifique et la puissance au mètre cube de cylindrée sont maxima.

La fabrication de ce carburant est simple. Le bois, après découpage, est introduit dans des fours rotatifs réalisés par M. Bourdet. Le bois passe, au moyen d'une vis d'Archimède, au travers d'un four où il est porté progressivement à la température de 275°. Le réglage de la vitesse d'amenée permet d'obtenir la torréfaction voulue.

Ce combustible, qui présente des qualités supérieures à celles du bois, est d'un prix de revient peu élevé. Par contre, il exige que le gazogène soit muni d'un système d'épuration assez complet puisque le charbon roux contient encore une forte proportion de goudrons et de pyroligneux.

C) **Le charbon Géka.**

Nous n'insisterons pas sur ce carburant, malgré l'intérêt qu'il présente, car il a été réservé jusqu'ici à la traction ferroviaire.

M. Guillaume, inspecteur divisionnaire, a eu l'idée de carboniser de vieilles traverses, considérées jusqu'alors comme inutilisables, et a imaginé un système de four permettant la réalisation de ce projet.

Le charbon obtenu après broyage est de qualité supérieure (très riche en carbone), car, dans les fours utilisés, on ne laisse pas les gaz s'échapper directement dans l'atmosphère, mais on les force à venir enrichir le charbon de bois en formation.

Le charbon Géka s'est révélé, au cours d'essais, un carburant peu coûteux et d'excellente qualité.

Conditionnement du charbon de bois.

Le charbon, tel qu'il sort de la meule ou du four, ne peut être directement utilisé dans les gazogènes; il est formé de morceaux très irréguliers et généralement trop volumineux.

On peut soit le concasser à la main sur un treillis métallique (rendement homme-jour 300 à 400 kilos), soit utiliser des appareils spéciaux qui assurent le dépoussiérage, le concassage et le calibrage.

Le dépoussiéreur est un simple tamis à secousse; le concasseur est formé, en principe, de deux cylindres munis de pointes entre lesquels le charbon de bois se trouve cassé en menus morceaux. Le calibrage, enfin, est obtenu par un jeu de tamis de dimensions voulues.

Ces trois opérations sont, en général, résolues par un même appareil à bras ou à moteur. Une machine actionnée par un moteur de 2 CV. peut fournir 1 tonne par jour.

On obtient ainsi un charbon de bois de dimensions convenables, dépoussiéré et débarrassé plus ou moins du charbon provenant de l'écorce; mais la perte de charbon de bois sous forme d'éléments trop fins ou de poussière est

assez élevée (de 8 à 10 % si l'opération est faite à la main, 10 à 20 % si elle est faite à la machine).

Emballage et stockage.

Le charbon de bois est généralement présenté dans des sacs de papier, plus pratiques et moins onéreux que les sacs en toile. Le type le plus usuel est celui de 50 litres de 30 × 30 centimètres carrés de base et de 70 centimètres de hauteur. L'ensachage est fait soit à la main, soit à l'aide d'ensacheurs mécaniques à grand débit.

Le stockage du charbon en sacs et surtout du charbon en vrac est d'une grande importance. Le charbon de bois, très hygroscopique, doit être mis soigneusement *à l'abri de l'humidité,* condition essentielle d'un bon rendement dans le gazogène.

QUELQUES CHIFFRES CONCERNANT LES CARBURANTS FORESTIERS

	BOIS	CHARBON DE BOIS	AGGLOMÉRÉS
Pouvoir calorifique :			
absolu	3.000 à 3.500	7.000 à 8.000	7.000 à 8.000
du mélange air-gaz	550 à 600	550 à 600	550 à 600
Densité	0,5 à 0,8	0,4 à 0,6	1 à 1,2
Poids de 1 m^3	400 kilos	200 à 250 kilos	
Consommation aux 100 km. pour un camion de 2 à 3 tonnes marchant à une vitesse moyen. de 50 km/h.	60 kilos	35 à 40 kilos	25 à 35 kilos

D'une façon générale, on considère que :

2,6 à 2,8 kg. de bois, ou
1,2 à 1,5 kg. de charbon de bois } équivalent à 1 litre d'essence.

CHOIX D'UN CARBURANT POUR GAZOGENE

La plupart des gazogènes sont adaptés pour marcher soit au bois, soit au charbon de bois; c'est donc avant l'achat d'un gazogène qu'il convient de choisir entre ces deux carburants.

L'avantage du bois réside dans son prix peu élevé et son approvisionnement simple. Mais il est, par rapport au charbon de bois, lourd et encombrant; il exige donc des rechargements fréquents. En outre, le système d'épuration des gaz est plus complet et partant plus lourd. Le bois est donc tout indiqué pour alimenter des camions ne devant avoir qu'un rayon d'action limité, c'est-à-dire revenant à l'entrepôt assez fréquemment. Il s'impose aux industriels disposant de réserve de bois sec, sous forme de déchets par exemple. Nous ne saurions trop insister sur le fait que l'emploi du bois dans les gazogènes est le plus naturel.

Le charbon de bois, en raison de son pouvoir calorifique plus élevé, est d'un emploi plus commode, bien qu'on lui reproche d'être salissant. Son plus grand avantage réside dans le fait que la technique des gazogènes à charbon de bois est plus avancée, le principe en étant beaucoup plus simple. Ajoutons à cela que le rayon d'action d'une voiture marchant au charbon de bois est notablement augmenté; d'où son usage toutes les fois que l'usager prévoit une autonomie assez grande de son matériel automobile.

Les agglomérés et comprimés, formés des constituants même du charbon de bois, jouent le même rôle que ce dernier, avec tous les avantages indiqués dans un chapitre précédent. Mais leur prix de revient, qui, jusqu'à ces dernières années, était élevé, en faisait un carburant de luxe. D'ailleurs, il doit être assez difficile de s'en procurer actuellement. Si, plus tard, ils font leur réapparition sur le marché et si leur prix a pu être sensiblement diminué, il sera toujours possible de les utiliser avec intérêt dans les gazogènes à charbon de bois, sans modification aucune.

Enfin, le bois torréfié ou charbon roux, nouveau venu parmi les carburants forestiers, n'est pas encore d'un usage très répandu; c'est d'autant plus regrettable que les avantages de ce carburant sont sérieux. Il trouvera sa place dans les gazogènes à bois, par suite de sa teneur presque aussi grande en goudron et pyroligneux que le bois cru.

DEUXIÈME PARTIE

GAZOGÈNES

Essai de définition rationnelle

Les gazogènes qui nous intéressent dans cette brochure sont ceux conçus pour l'alimentation d'un *moteur à explosion sur véhicule automobile.*

L'essentiel du moteur à explosion se résume (ou se synthétise) par une chambre à explosion et d'admission des gaz, un piston mobile dans cette chambre. Si l'on veut obtenir d'un tel moteur une puissance maximum et une durée convenable, il faut que soient remplies les conditions suivantes :

a) Le gaz utilisé (introduit dans le cylindre) doit être le plus riche possible en calories. Dans le cas d'un gazogène adapté, ceci suppose une bonne opération chimique dans le générateur (transformation maximum du gaz carbonique CO^2 en oxyde de carbone CO).

b) Le cylindre doit admettre un volume maximum de gaz tonnant. Cette condition implique le refroidissement préalable du gaz donné par le générateur jusqu'à une température voisine de la température extérieure ambiante, et donc un appareil annexe spécial : *le refroidisseur.* (Voir volume occupé par les gaz suivant température, formule $V = Vo \ (1 + \alpha t)$.

c) Le gaz combustible doit être correctement épuré, sans poussières solides qui hâtent l'usure du cylindre, sans acides qui corrodent les métaux, sans goudrons qui encrassent divers organes. Il est donc nécessaire de prévoir un *épurateur.*

La destination à un véhicule automobile implique un appareil de faible encombrement, léger, capable de sup-

porter certains chocs et vibrations et qui réponde à certaines conditions d'équilibre.

Le « gazogène » que nous étudions ici pourra donc être défini comme « un appareil de faible encombrement, léger, pouvant supporter des vibrations, des arrêts brusques et fournissant un gaz riche en calories (riche en CO), à une température ambiante, sans particules solides, sans goudrons et sans acides ».

Cette définition a l'avantage de montrer qu'un gazogène se compose toujours, sans aucune exception, de trois appareils :

LE GENERATEUR,

LE REFROIDISSEUR,

L'EPURATEUR.

Cette définition délimite, d'autre part, notre sujet. Il ne sera pas question de traiter, dans ce chapitre, des principes d'appareils et des appareils adaptés aux installations fixes.

Le générateur

I

REACTIONS CHIMIQUES
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Etant donnés les corps chimiques qui vont entrer en réaction, le rôle du générateur est de fournir un gaz combustible principalement composé de CO, accessoirement d'hydrogène et de quelques carbures d'hydrogène.

REACTIONS CHIMIQUES THEORIQUES PRINCIPALES

Elles sont au nombre de quatre :

(1) $C + O^2 = CO^2 + (97$ calories);
(2) $CO^2 + C = 2\ CO$ — (39 calories);
(3) $H^2O + C = CO + 2\ H$ — (28 calories);
(4) $m\ H^2O + n\ C = n'\ CO^2 +$ hydrocarbures.

Nous laisserons de côté, dans cette étude, le groupe des réactions (4), étant donnés les faibles volumes de carbure d'hydrogène formés (moins de 1 %) et, par suite, le peu d'influence qu'il a sur la valeur définitive du gaz produit.

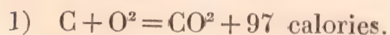
Nous avons fait figurer dans nos équations chimiques le nombre de calories dégagées ou absorbées par les réactions. Cette précision, essentielle à notre avis, nous permettra, entre autres choses, d'expliquer dans un paragraphe suivant le danger d'utiliser un combustible (charbon ou bois) trop chargé d'humidité.

Etude du groupe des réactions (1) et (2).

Formation de l'oxyde de carbone CO.

Les deux réactions chimiques : formation de gaz carbonique et réduction de ce gaz, sont les plus importantes. Elles sont complémentaires. Nous entendons par là que, dans un gazogène fonctionnant correctement, la réaction (2) suit immédiatement la réaction (1). Il est nécessaire que le CO^2 produit par (1) soit à peu près intégralement transformé en CO par la réaction (2). Si nous nous reportons aux équations de ces deux réactions, nous voyons que leur somme donne un dégagement de calories égal à (97 — 39) = 58 calories. Cette quantité de chaleur dégagée permet d'entretenir le foyer sans apport d'une énergie extérieure.

L'étude des conditions sans lesquelles se produisent ces deux réactions nous conduira à établir le principe même de tous les générateurs :



1) $C + O^2 = CO^2 + 97$ calories.

Cette réaction est celle de la combustion vive normale qui se produit en présence d'un *excès d'oxygène;* d'où le premier problème essentiel soulevé : *accès de l'air dans le générateur.* Cette réaction étant fortement exothermique serait favorisée (et l'est effectivement) par une température du foyer relativement basse; mais ici, cette condition se révèle sans intérêt.



2) $CO^2 + C = 2\ CO$ — (39 calories).

Comme chaque fois que l'on a affaire à une réaction endothermique, c'est-à-dire à une réaction absorbant de la chaleur, il y a intérêt à opérer à une température élevée. Cette température élevée est fournie dans le générateur par l'excès de calories dégagées par la réaction (1). Cette température doit être ici de l'ordre de 1.000° centigrades.

On donne à cette réaction (2) le nom de *réduction du CO^2 par le carbone.* Cette réduction est favorisée par un

excès de carbone. Il est, de plus, nécessaire que, dans la région où s'effectue cette réaction (2), il n'y ait plus d'oxygène. Cette condition soulève le problème pratique de l'étanchéité à l'air de notre générateur. Cette étanchéité est nécessaire pour deux raisons :

1° Pour que la réduction s'effectue normalement;

2° Pour qu'il n'y ait pas d'explosion en dehors du cylindre. S'il y a entrée d'air dans une grande partie du générateur (région à température supérieure à 450° centigrades), il se fait un mélange tonnant qui, en explosant, diminue le rendement et peut même devenir dangereux.

Le rôle du générateur étant de fournir principalement du CO, tout générateur comprendra une *zone dite de réduction.*

Remarquons en passant que, dans le type de générateur à tuyère, cette zone paraît peu étendue; mais, bien que certains auteurs négligent de la nommer, elle existe réellement, le processus de la formation du CO comprenant nécessairement le stade CO^2.

Température de la zone de réduction.

Il nous paraît intéressant de donner un tableau, dû au chimiste Le Chatellier, justifiant notre température de 1.000° centigrades à obtenir dans le générateur pour la zone de réduction.

TEMPÉRATURE	RAPPORT $\frac{CO}{CO^2}$
500	0.106
600	0.94
700	3.7
800	11.1
900	64
1.000	165

PREMIERS PRINCIPES DES GENERATEURS D'APRES LES REACTIONS (1) ET (2)

Ils découlent naturellement des conditions des deux réactions précédentes qui conduisent à la formation du CO.

Tout générateur doit déjà comprendre deux zones actives :

1° Un foyer bien alimenté en air (niveau de l'arrivée de l'air par tuyère ou évents); zone où s'effectuera la combustion vive donnant le gaz carbonique;

2° La zone de réduction, immédiatement voisine, où le charbon sera en excès, à une température variant de 1.500 à 750°, où la circulation des gaz sera ralentie pour assurer un contact maximum entre le CO^2 et le charbon;

3° En dehors de l'entrée d'air du foyer, notre générateur doit être *parfaitement étanche*.

D'après ces données, nous pouvons dessiner un générateur type (fig. 8).

Tous les perfectionnements de construction apportés à ce type-schéma de générateur sont bien peu nombreux. Ils tendent à obtenir que soient réalisées les conditions optima des deux réactions précitées; ils portent alors principalement sur l'arrivée d'air et la circulation des gaz (vitesse d'arrivée, quantité, température) et s'efforcent de tenir compte des réactions secondaires qui s'effectuent dans le générateur et dont nous allons parler bientôt.

Etude de la réaction secondaire n° 3, dite de réduction de l'eau.

L'équation $H^2O + C = CO + H^2$ — (28 calories) nous indique que cette réaction, fortement endothermique, n'est possible que dans la mesure où il y a un apport considérable de calories ou de chaleur. Or, cette réaction n'est pas couplée comme les deux précédentes. Aussi, ne se produira-t-elle qu'autant qu'il y aura un excès de calo-

ries apportées par la formation de CO^2. Il est facile de comprendre que si l'eau contenue dans le combustible (charbon ou bois) dépasse une certaine teneur, on pourra constater un refroidissement du générateur entraînant : la diminution de la zone de réduction par abaissement de température; une mauvaise transformation du CO^2 en CO, donc un appauvrissement du gaz combustible. Si la quantité d'eau du combustible est encore supérieure à cette proportion, on pourra arriver à l'extinction rapide du foyer en période de ralenti. Sans entrer dans le détail, tous calculs faits, il n'est pas intéressant d'utiliser dans les générateurs à charbon un combustible contenant plus de 10 % d'eau (et dans les générateurs à bois, plus de 20 % d'eau), bien que l'hydrogène produit dans cette réaction augmente sensiblement le pouvoir calorifique du mélange tonnant.

REACTIONS CHIMIQUES REELLES

Jusqu'ici, il a été question de trois corps chimiques :

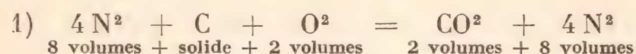
C = charbon,
O = oxygène,
H^2O = eau.

La réalité est beaucoup plus complexe. Le charbon de bois, quoique très rapproché du carbone, n'est pas un corps simple; il contient encore, en dehors de l'eau extérieure dont il vient d'être parlé, des matières organiques non complètement carbonisées capables de donner, sous l'influence de l'augmentation de température, des goudrons (hydrocarbures lourds), des pyroligneux (acide acétique, acétone, alcool méthylique). Il contient, en outre, des matières minérales pouvant donner un laitier. Quant au bois, c'est un mélange d'hydrates de carbone plus ou moins purs qui ne contiennent pas plus de 50 % de carbone.

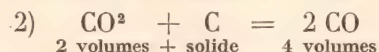
Enfin, en même temps que l'oxygène, il va entrer dans le générateur un volume quadruple d'azote, corps inerte,

ne jouant aucun rôle dans les réactions, mais qui appauvrit considérablement le mélange gazeux.

En tenant compte de cet azote, les réactions étudiées s'écrivent :

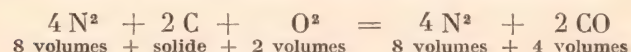


$$1)\quad \underset{8\ \text{volumes}}{4\,N^2} + \underset{\text{solide}}{C} + \underset{2\ \text{volumes}}{O^2} = \underset{2\ \text{volumes}}{CO^2} + \underset{8\ \text{volumes}}{4\,N^2}$$



$$2)\quad \underset{2\ \text{volumes}}{CO^2} + \underset{\text{solide}}{C} = \underset{4\ \text{volumes}}{2\,CO}$$

La réaction totale, somme des deux précédentes :



$$\underset{8\ \text{volumes}}{4\,N^2} + \underset{\text{solide}}{2\,C} + \underset{2\ \text{volumes}}{O^2} = \underset{8\ \text{volumes}}{4\,N^2} + \underset{4\ \text{volumes}}{2\,CO}$$

Le mélange combustible est donc constitué comme suit :

28 % de CO,
4 % d'H,
68 % d'N (azote inerte).

GOUDRONS — PYROLIGNEUX

Dans le cas du charbon de bois épuré, les réactions précédentes suffisent à donner une idée des opérations chimiques qui se passent dans le générateur. Dans le cas de charbons minéraux, et principalement dans le cas où le bois est le seul combustible, les opérations chimico-physiques sont beaucoup plus compliquées.

Le bois se trouvant dans la trémie, au-dessus du foyer, subit une série de transformations que nous devons indiquer. Très succinctement, et dans l'ordre :

1[er] stade : Evaporation de l'eau extérieure aux tissus ligneux proprement dits. Cette eau peut être en très grande quantité (50 %); aussi, tenant compte de ce qui a été dit lors de l'étude de la réduction de l'eau, il est absolument nécessaire d'utiliser un bois dit sec à l'air, contenant 15 à 18 % d'eau.

2[e] stade : Les hydrates de carbone constitutifs du bois distillent comme ils le feraient en vase clos ou dans une

cornue, se transformant en goudrons légers et lourds et donnant encore un mélange dit pyroligneux, composé d'eau, d'alcool métylique, acétone et divers acides organiques dont le plus abondant est l'acide acétique.

3[e] stade : Ces deux premiers stades étant passés, il reste dans le bas de la trémie du charbon à peu près pur, et nous sommes ramenés au cas précédent.

Les deux groupes de ces corps qui distillent sont extrêmement nocifs, et pour les épurateurs (filtres), et pour le moteur. Ce sont, respectivement, les *goudrons* et les acides organiques.

Autre problème, soulevé par les réactions secondaires et la nature chimique réelle des corps en action : élimination de l'eau, des goudrons et du pyroligneux.

PRINCIPE DU PERFECTIONNEMENT DE NOTRE PREMIER TYPE DE GENERATEUR

Notre générateur doit éliminer les corps précités. Le moyen le plus simple qui ait été imaginé et réalisé consiste à brûler ces corps. Mais cette combustion, pour être pratiquement complète, demande que tous les gaz de distillation traversent le foyer et la zone de réduction. *D'où l'adoption des générateurs à tirage renversé.*

Tirage direct. — Tirage renversé ou inversé.

Le tirage direct est celui d'un foyer ordinaire où l'air et le combustible cheminent en sens inverse (cas également du foyer d'une locomotive). Les gaz distillés ne traversent pas le foyer (fig. 8).

Dans le tirage renversé ou inversé, les gaz distillés sont appelés au dehors sous la grille du foyer. Ils sont, par conséquent, dans l'obligation de traverser ce foyer, dans lequel ils sont décomposés principalement en CO et H, gaz combustibles non nocifs qui enrichissent le mélange, étant donné qu'ils sont formés sans l'intervention de l'air (fig. 9).

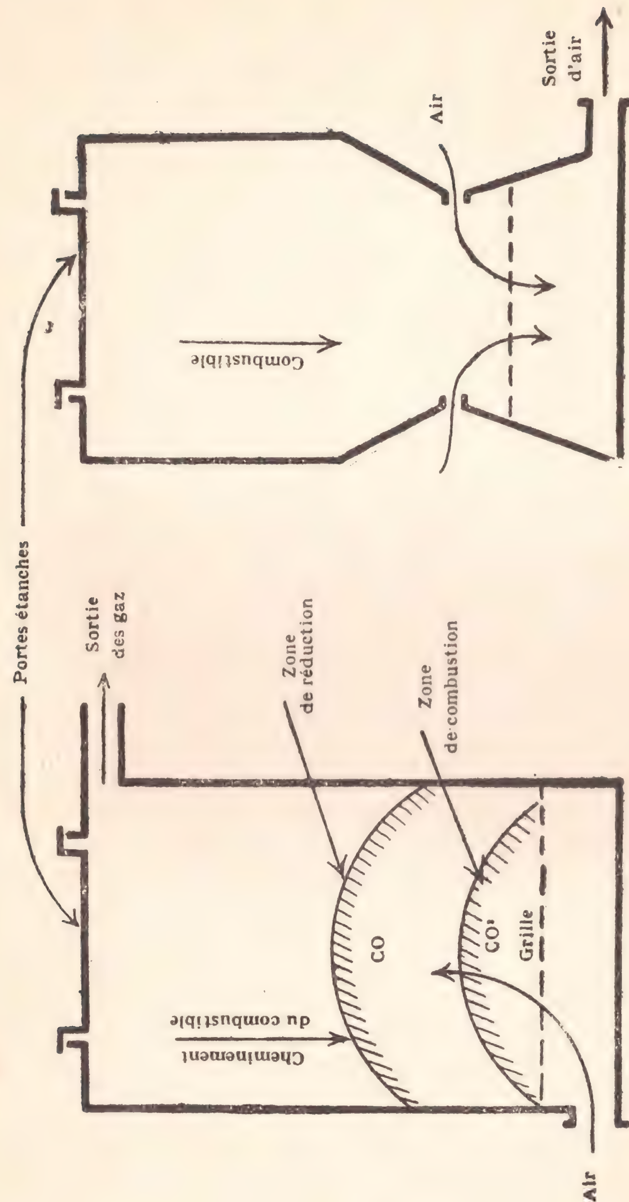


Fig. 8.
Tirage direct 1er type de gazogène.

Fig. 9.
Tirage renversé.

On peut définir les tirages direct et renversé d'une manière plus simple et plus juste, quoique moins courante.

Dans le tirage direct, la zone de distillation et la sortie des gaz sont d'un même côté de la grille.

Dans le tirage indirect, la zone de distillation et la sortie des gaz sont de part et d'autre de la grille du foyer.

Ajoutons que l'eau extérieure aux fibres et de composition est éliminée (réduite) dans le même processus.

Remarque.

Ce tirage inversé est adopté également dans les générateurs utilisant les charbons épurés. En effet, ces charbons contiennent toujours une certaine proportion d'hydrates de carbone distillant du goudron et des pyroligneux.

CIRCULATION FORCEE DE L'AIR ET DES GAZ

Pour que les trois groupes de réaction dont nous avons parlé se produisent correctement, il faut avant toute chose que le foyer du gazogène soit ardent, c'est-à-dire que nous ayons une quantité d'air suffisante pour entretenir une combustion très vive.

Dans les générateurs, le tirage naturel est nul, surtout avec le tirage renversé. Aussi a-t-on recours au tirage artificiel pour assurer le bon fonctionnement du gazogène.

En marche normale, aucune difficulté. L'aspiration du moteur est le facteur déterminant le tirage du foyer : aspiration intermittente, mais puissante.

Au départ, le moteur ne donnant pas, il est nécessaire d'employer un des deux moyens suivants :

1° *Système normal par aspirateur électrique.* — En dérivation sur les conduites d'amenée des gaz au moteur

on branche un aspirateur électrique fonctionnant sur la batterie d'allumage. Le débit de cet aspirateur est calculé de telle sorte qu'au bout de deux à trois minutes, au maximum, le foyer et la zone de réduction soient constitués. Dès que ces deux zones sont en réaction, on constate que le gaz est bon, en l'allumant à la sortie de l'aspirateur. Il doit brûler avec une belle flamme bleu pâle caractéristique de l'oxyde de carbone.

2° *Départ à l'essence.* — Tous les véhicules possèdent une nourrice d'essence de trois à cinq litres. On peut donc démarrer le moteur à l'essence; on accélère à fond pour obtenir une aspiration puissante et on fait jouer alternativement l'aspiration sur les canalisations d'amenée de l'essence et du gaz de générateur. Au bout de quelques minutes, quatre à cinq, le générateur débite du gaz riche en CO convenant au moteur.

Remarque. — Sur des types de gazogènes plus anciens, notamment Panhard, on employait un souffleur électrique. Ce procédé est abandonné depuis plusieurs années. En effet, en marche normale, il existe une dépression à l'intérieur du générateur.

Les joints et la construction elle-même des appareils sont prévus pour cette dépression. La surpression imposée au départ par le souffleur électrique était dangereuse pour l'étanchéité absolue des appareils. Pour cette raison, tous les constructeurs ont préféré adopter l'aspirateur. Il y a d'ailleurs une autre raison théorique : la formation de CO est favorisée par une diminution de la pression. Le cas du souffleur est donc défavorable.

CONCLUSIONS SUR LES GENERATEURS

Les générateurs sont des appareils très simples de principe et de construction. Pratiquement, il faut retenir qu'un générateur est, avant tout, *une usine chimique.* Chaque fois que l'utilisateur d'une voiture à gazogène aura des incidents de marche (en dehors, bien entendu,

des incidents mécaniques et d'allumage), il doit savoir que cet incident est dû à une mauvaise réaction chimique. Nous en avons quatre :

1° Formation de CO^2;
2° Formation de CO;
3° Réduction de H^2O;
4° Brûlage des goudrons et acides.

Ces deux dernières réactions sont, pratiquement, des *réactions d'épuration.*

Ces quatre réactions se réalisent dans la partie inférieure du générateur. Toute l'attention du conducteur doit se porter sur ce point. Il doit vérifier souvent :

1° *L'étanchéité de ses portes et de ses joints;*
2° L'accès d'air (tuyères, évents non encrassés);
3° La circulation des gaz (grille non encrassée);
4° *Le foyer* (il peut s'encrasser : scories, cendres, fondues, etc.).

Il doit, en quelque sorte, veiller à la propreté de la zone active, de façon que la circulation des gaz reste normale. Il lui suffit pour cela de secouer la grille deux ou trois fois par jour, de vérifier et nettoyer le foyer tous les matins. Ces opérations ne prennent pas plus de quelques minutes et évitent la plupart des incidents de route.

II

LE REFROIDISSEUR

Les gaz sortant du générateur à 400° doivent être ramenés à la température ambiante au moment de l'admission au moteur. Ainsi la valeur calorifique de la cylindrée sera maximum (voir masse des gaz et pouvoirs calorifiques dans un manuel quelconque de physique).

Pour le refroidissement, on emploie deux procédés, le plus souvent combinés.

1° *Par détente.* — Le gaz débouchant dans un espace relativement grand occupe brusquement plus de volume et se refroidit.

2° *Par contact.* — Le gaz est promené dans des canalisations métalliques nombreuses et de petit diamètre; mais dans ce cas, les tubes servant de dépoussiéreurs s'encrassent. On préfère utiliser des tubes de diamètre plus fort qui circulent autour et à l'extérieur du véhicule. Par ce moyen, l'abaissement de température est provoqué par le contact des canalisations bonnes conductrices de la chaleur avec l'air extérieur.

Ces refroidisseurs sont prévus de telle façon que la température des gaz ne descende pas au-dessous de 70° avant leur entrée dans les épurateurs. Au-dessous de cette température, les filtres-toiles des épurateurs seraient colmatés par des condensations de vapeurs.

III

LES EPURATEURS

Les épurateurs sont rendus nécessaires par la fragilité du moteur, qui ne peut admettre dans son cylindre, ni des poussières, ni des goudrons, ni de l'eau. Toutefois, ces épurateurs sont seulement des appareils de complément, ou mieux, de finissage d'épuration chimico-physique. *L'épuration massive des corps nocifs doit se faire dans le foyer et la zone de réduction.*

1° Epurateurs à gaz de bois.

Dans le cas du bois, l'épuration doit être beaucoup plus poussée que dans le cas du charbon. Nous verrons, dans la description des gazogènes à bois, que la zone de réduction et le foyer sont beaucoup plus importants que

dans les gazogènes à charbon; malgré cette première et obligatoire précaution, les gaz entraînent une quantité appréciable de vapeur d'eau, de goudrons et de pyroligneux. Pour éliminer ces vapeurs, on doit provoquer leur condensation, ce qui est obtenu dans les refroidisseurs. Une partie de ces gouttelettes restent dans le refroidisseur, les autres sont entraînées, aspirées par le moteur à travers des corps absorbants, tels que grains de liège, coke, etc., etc...

Le courant gazeux, chargé de gouttelettes et de poussières, vient frapper des parois en chicane, des tôles perforées dont les trous ne sont pas en regard (anneaux de Raschig). Les gouttelettes et les poussières adhèrent aux parois, aux corps absorbants. Ce dépôt est encore favorisé par la perte de charge que subit le courant gazeux dans son trajet extrêmement complexe.

2° Epurateurs à gaz de charbon.

Le gaz de charbon de bois ne contient que très peu de vapeur d'eau et de corps nocifs. Il est surtout essentiel de se débarrasser des poussières. Ce dépôt se fait principalement dans une chambre de détente (perte de charge et dépôt des particules les plus grossières).

On s'arrange également à obtenir un dépôt par la force centrifuge (circuit de gaz en spirale). Ce dépoussiérage se poursuit au travers d'une matière absorbante (coke, liège, etc.) et se finit sur des toiles de coton ou de papier.

Ce système de dépoussiérage sur toiles ne peut être utilisé dans le cas du gaz de bois; son humidité, encore trop grande malgré les condensations successives, colmatent rapidement ces toiles. D'ailleurs, dans le cas du gaz de charbon, pour éviter ce colmatage, la température des gaz doit être de l'ordre de 60°.

Les épurateurs à gaz de charbon possèdent sur le circuit des gaz épurés un filtre, dit de sécurité. Ce dernier est fait d'une toile métallique très fine et intervient dans deux cas.

1° *L'épuration est mauvaise.* — Ce filtre s'obstrue et le moteur ne répond pas (le conducteur du véhicule doit aussitôt vérifier son épurateur).

2° *Il y a des retours de flammes.* — Le filtre de sécurité protège alors les toiles de coton filtrantes, jouant un rôle d'écran analogue à celui utilisé pour les lampes anti-grisou des mineurs.

Etude de différents types de gazogènes

INTRODUCTION

Dans notre première partie, nous avons donné, très succinctement il est vrai, mais complètement, les principes des gazogènes. Dans cette deuxième partie, nous donnerons une description très rapide des différents types de gazogènes, en nous efforçant de mettre en évidence les solutions particulières adoptées par chaque constructeur pour la réalisation des réactions essentielles et des opérations de refroidissement et d'épuration.

Remarque. — Nos descriptions des appareils sont, à dessein, sommaires. Il nous a paru préférable, pour faciliter le travail du lecteur, d'accompagner nos croquis de légendes explicatives.

I

GAZOGENES A CHARBON TYPE PANHARD

LE GENERATEUR (fig. 10).

Le générateur comprend :

a) Une zone supérieure : *la trémie* (A), enveloppe cylindrique en tôle recevant le charbon, complétée à la base (environ mi-hauteur du générateur) par un déflec-

teur conique en acier moulé ou fonte spéciale. Ce déflecteur (B) a pour but de diriger le combustible vers le foyer.

b) Une zone inférieure : le corps du générateur, composé d'une double enveloppe cylindrique en tôle :

1° L'enveloppe extérieure dont le niveau inférieur est à la hauteur de la grille;

2° L'enveloppe intérieure, qui part d'un peu au-dessous du déflecteur et se termine par le cendrier (E).

Entre les deux enveloppes cylindriques en tôle est aménagé un espace annulaire dans lequel circule l'air d'alimentation. Collé sur la face interne de l'enveloppe intérieure, se trouve le foyer proprement dit, constitué par des éléments moulés en matière réfractaire. Séparé du foyer par une grille, et au-dessous, se trouve le cendrier.

Orifices divers.

(F) Porte de chargement du charbon;

(G) Orifice d'allumage prolongé par une canalisation recourbée (starter) aboutissant au centre de l'appareil, immédiatement au-dessus du foyer;

(H) Clapet d'arrivée d'air en marche normale;

(I) Porte du cendrier, pour le nettoiement;

(J) Sortie des gaz combustibles.

DESCRIPTION SPECIALE DES ACCES D'AIR TIRAGE — CIRCULATION

L'air arrive, en marche normale, grâce à l'aspiration du moteur par le clapet (H). Il suit, en se réchauffant, l'espace annulaire ménagé dans le corps du générateur, entre les deux tôles, puis il passe, rabattu par le déflecteur, dans un deuxième espace annulaire (entre la tôle intérieure et la matière réfractaire), où il prend une température déjà élevée qui, évitant tout refroidissement du foyer, permet d'obtenir une zone de réduction plus éten-

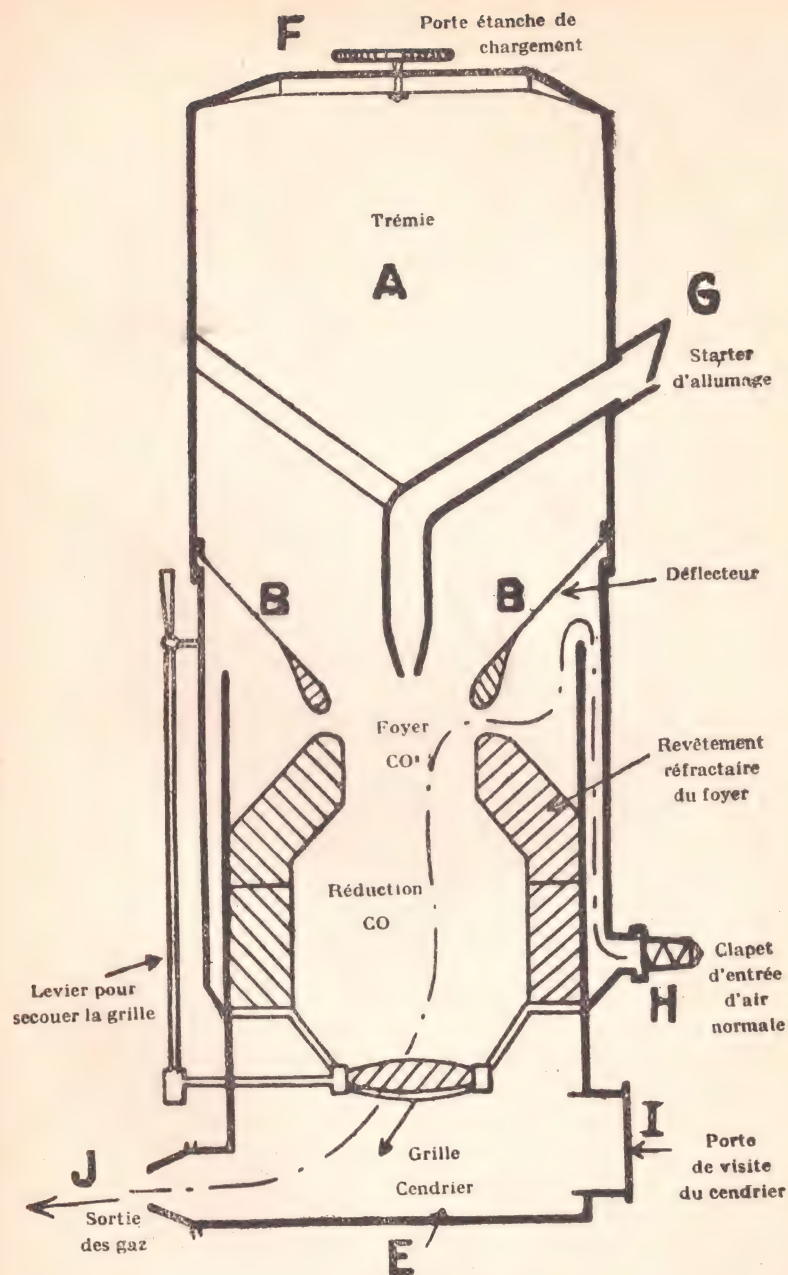


Fig. 10.

Générateur PANHARD

due et plus vive. Il accède, enfin, au foyer par l'étranglement de la garniture réfractaire. Grâce à cet étranglement, il prend une vitesse suffisante pour que le courant gazeux pénètre avec force et en excès jusqu'au cœur du foyer (zone de la réaction (1) : conditions d'excès d'air). Toutefois, sa vitesse reste relativement faible par comparaison avec le système à tuyère. La zone de réduction étant d'un diamètre supérieur à celui de la zone d'entrée d'air, cette vitesse décroît encore, assurant un bon contact avec la surface du combustible ou, mieux encore, la surface de réaction. D'où deux conséquences :

1° La zone de combustion est relativement volumineuse. Elle s'étend jusqu'au revêtement réfractaire nécessaire pour la protection des tôles.

2° Il est possible d'utiliser un combustible de faible surface, soit du charbon de gros calibre. Le courant gazeux ayant dépassé le foyer proprement dit comprend maintenant du CO^2 à la place de l'O^2. Nous sommes dans la zone de réduction. Nous rappelons que, pour une bonne réduction, il est nécessaire d'avoir un excès de carbone, un bon contact, d'où l'élargissement de cette partie du générateur.

Accès d'air au départ.

Pour l'allumage du générateur, l'amenée d'air normale ne peut être utilisée à cause de son long circuit de réchauffement. Il a donc été prévu une tuyère (G) (starter) qui a son point d'aboutissement au bas et au milieu du cône du déflecteur.

Tirage.

Le tirage de ce générateur est du type renversé : l'air et le combustible marchent dans le même sens. Dans la trémie, le charbon distille la vapeur d'eau et les goudrons qui doivent passer obligatoirement au travers du foyer très volumineux où la température élevée les dissocie.

GENERATEUR GOHIN-POULENC

Description (fig. 11).

Il comprend un corps cylindrique :

1° La partie supérieure, en tôle mince, qui sert de trémie (A);

2° La partie inférieure, ou foyer, qui est en tôle épaisse et porte des ailettes de refroidissement (B).

Ces deux parties sont séparées par un étranglement qui comporte une fente permettant l'introduction d'une tôle-registre qui retient le combustible lors d'un décrassage du foyer.

Dans la zone B aboutit la tuyère d'arrivée d'air. Cette tuyère pénètre au cœur du foyer et risque, par suite, d'être brûlée sous l'action de la très haute température (1.500°). Le constructeur a prévu, pour obvier à ce grave inconvénient, un système de refroidissement par courant d'eau.

Face à la tuyère, se trouve une grille dont le rôle est d'empêcher les cendres et les particules de charbon d'être aspirées dans la canalisation de sortie des gaz combustibles. Au bas du foyer se trouve la grille du cendrier proprement dit.

Orifices.

En haut de l'appareil, porte de chargement (C);
Porte de la tôle-registre (D);
Sortie des gaz (E);
Porte du cendrier (F).

Accès d'air.

L'accès d'air se fait directement par la tuyère, dans le cas du départ, de la marche normale et du ralenti. L'air n'est pas réchauffé préalablement, mais pénètre dans le foyer avec une très grande vitesse, ordre de 100 mètres-seconde.

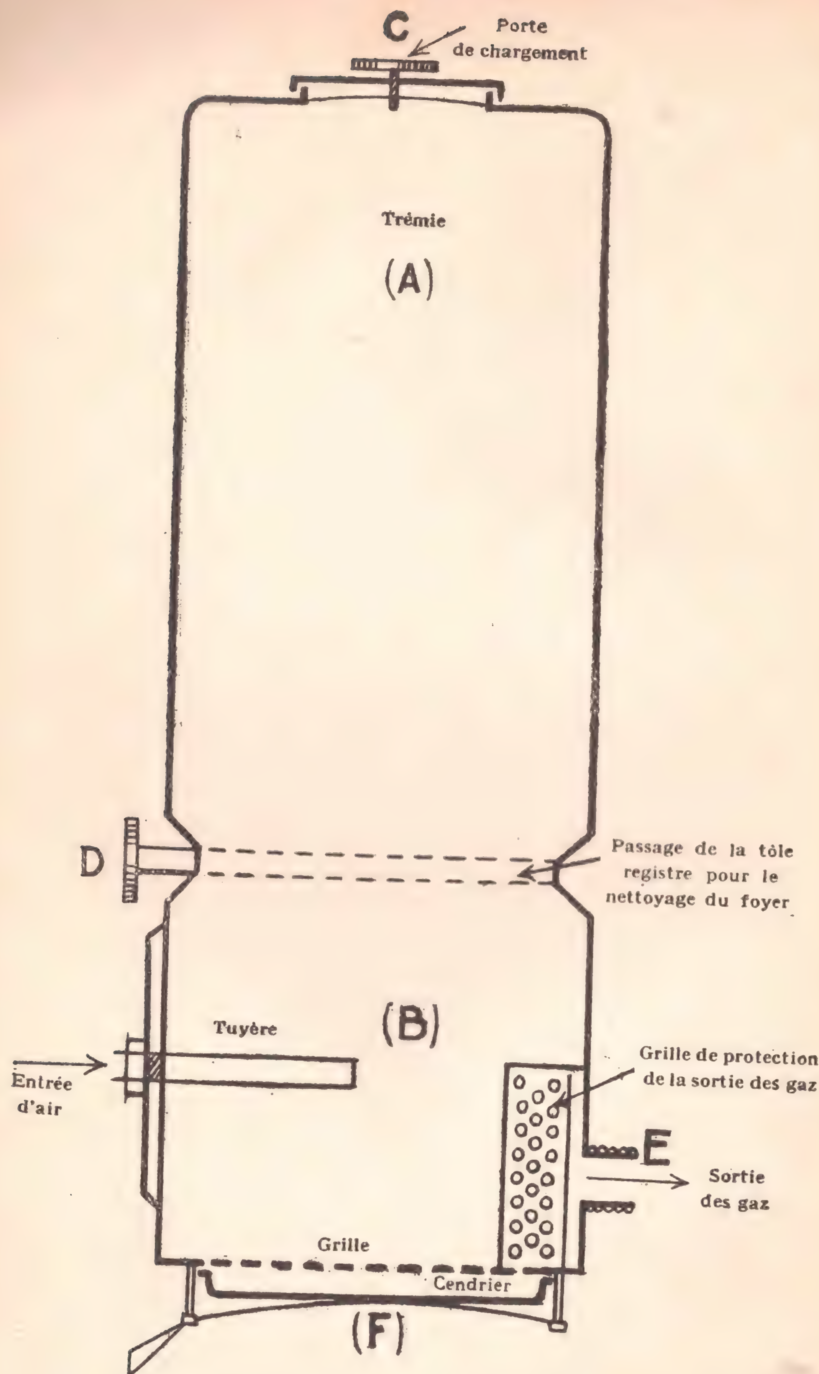


Fig. 11.

Générateur GOHIN-POULENC.

PRINCIPE DES GENERATEURS A TUYERE

Tout générateur à tuyère est caractérisé :

1° *Par une localisation de l'arrivée d'air au centre du foyer.* — Ce fait entraîne une localisation de la masse en ignition au centre de l'appareil, la partie extérieure étant à une température relativement basse. Il est donc inutile de prévoir un revêtement réfractaire pour la protection des tôles.

2° *Par une grande vitesse de l'air primaire.* — Cette vitesse paraît intervenir grandement sur les réactions (1) et (2). Pour certains auteurs, il n'y aurait pas formation intermédiaire de gaz carbonique, mais formation immédiate de CO. Quoi qu'il en soit, le résultat pratique est que les zones de combustion et de réduction sont extrêmement réduites et que la réactivité des gazogènes est améliorée.

Comparaison des générateurs Panhard et Gohin-Poulenc.

Ces deux générateurs ont les caractéristiques communes suivantes : ils sont prévus pour fonctionner au charbon de bois; ils sont du type à tirage renversé.

Le Panhard comporte un réchauffement de l'air et une entrée annulaire de cet air, alors que le Gohin-Poulenc (et les autres systèmes à tuyère) comporte une entrée directe d'air à très grande vitesse, située au centre du foyer. Sur le type à tuyère, il n'y aura pas de revêtement réfractaire du foyer.

Sur le premier type, le foyer plus étendu permet un meilleur brûlage des corps nocifs et l'emploi de charbon plus grossier.

Sur le type à tuyère, la vitesse de circulation plus grande rend nécessaire l'utilisation d'un charbon de petit calibre et de meilleure qualité, grâce à quoi, d'ailleurs, la réactivité du générateur est sensiblement supérieure.

AUTRES GENERATEURS A TUYERE

Nous pouvons citer les systèmes Sabatier-Decauville, Libault (Gazauto) et Carbogaz. Le fonctionnement de ces trois types est tout à fait comparable. Leur originalité réside dans leur tuyère.

Tuyère Gohin-Poulenc (voir fig. 12).

Caractérisée par un refroidissement par eau et un système spécial de marche au ralenti, avec papillon actionné par la pédale d'accélération. Au ralenti, ce papillon est fermé; seule, une petite canalisation centrale permet l'accès de l'air au foyer. La vitesse de cet air, sur des aspirations faibles de ralenti, reste la même qu'en marche normale et le foyer garde toute sa force.

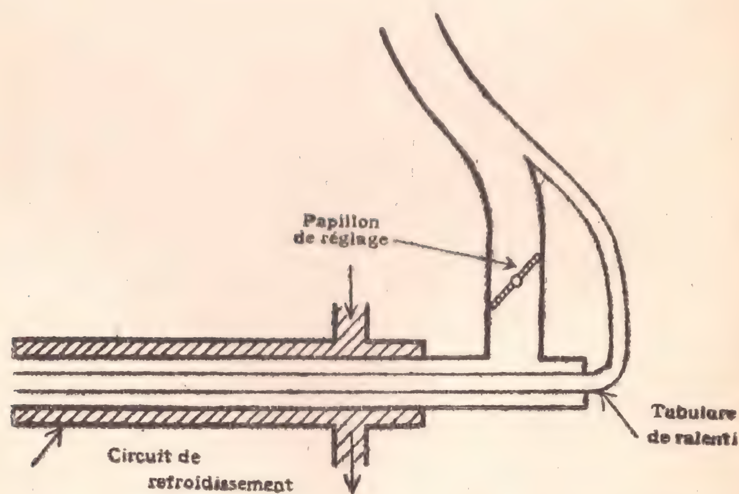


Fig. 12.

Tuyère spéciale de ralenti
GOHIN-POULENC

Tuyère Sabatier-Decauville.

La tuyère Sabatier-Decauville est caractérisée par son refroidissement d'air. C'est l'air primaire qui parcourt trois fois la longueur de cette tuyère avant d'arriver au foyer. Ce type a donc l'avantage d'assurer un réchauffement de l'air d'alimentation.

Tuyère Libault.

Elle est garnie intérieurement d'ailettes longitudinales qui augmentent la surface de contact de l'air et du métal.

Tuyère Carbogaz.

Elle est constituée par du Carborandum, matière résistant bien aux hautes températures et à refroidissement par air (fig. 12 *bis*).



Fig. 12 bis.

Générateur CARBOGAZ.

REFROIDISSEURS GOHIN-POULENC et PANHARD

Dans les deux types de gazogènes, le refroidissement se fait par contact des gaz chauds avec une paroi métallique d'un certain développement (tubes de fort diamètre circulant autour du châssis). Le Gohin comporte, en plus, une boîte à poussières dans laquelle le gaz se détend, se refroidit et s'épure.

EPURATEURS GOHIN-POULENC et PANHARD

Ils comprennent, tous les deux, les mêmes éléments filtrants (couche de coke et toiles filtrantes montées sur supports métalliques). En outre, à la sortie des gaz, se trouve un filtre métallique de sécurité.

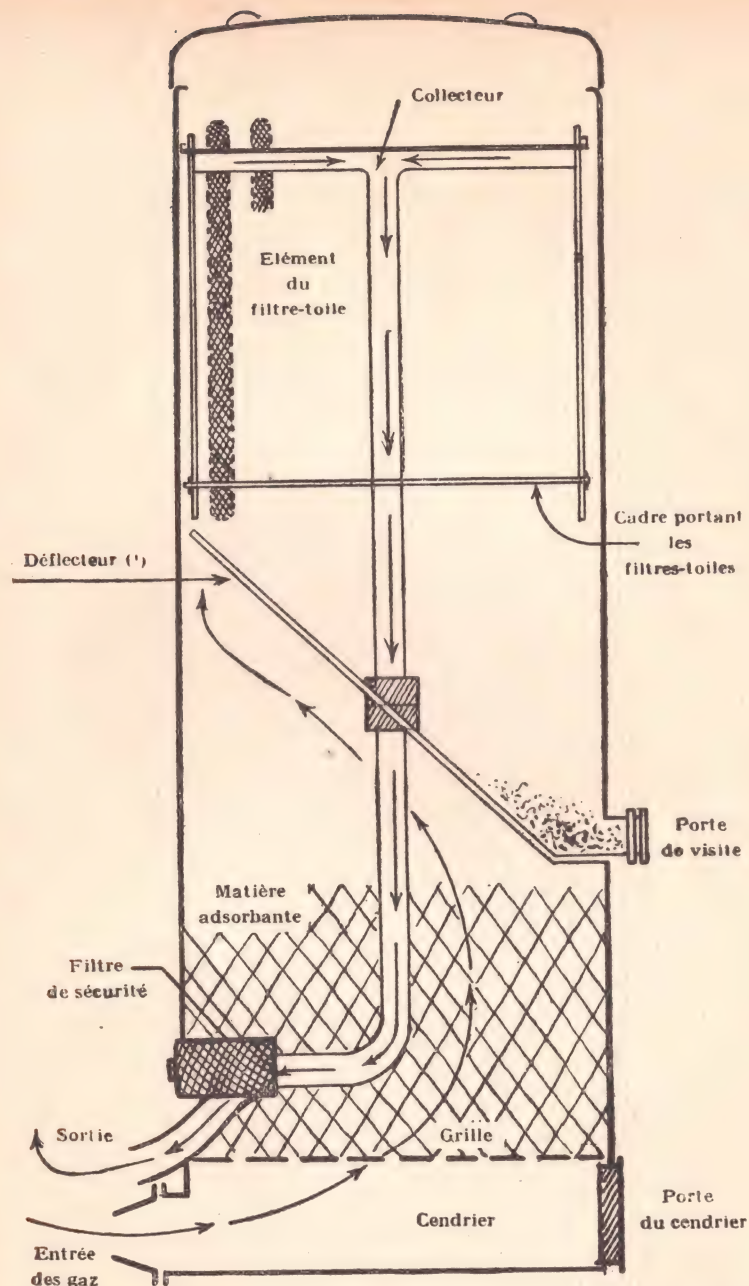
Sur le Panhard, le filtre de sécurité est à maille très fine (120 par millimètre carré); il est pratiquement impossible qu'aucune poussière puisse le traverser. Son but réel est de préserver le moteur, dans le cas d'avaries aux toiles filtrantes. Il est colmaté dès que les poussières arrivent sur lui et le moteur ne tourne plus, faute d'alimentation.

Sur le Gohin, ce filtre de sécurité à mailles moins fines joue seulement le rôle d'un anti-grisou.

(Voir les détails de construction sur les croquis, fig. 13 et 14.)

EPURATEUR CARBOGAZ.

Il comporte une boîte à poussières rigide et quatre sacs en toile filtrante. Ces sacs sont souples et ne sont maintenus par aucune armature. Les trépidations de la voiture opèrent à tout instant leur nettoyage : les poussières



(1) Sur sa face supérieure il reçoit les poussières et les dirige vers la porte de visite — la matière adsorbante n'est pas souillée.

Fig. 13.

Epurateur PANHARD

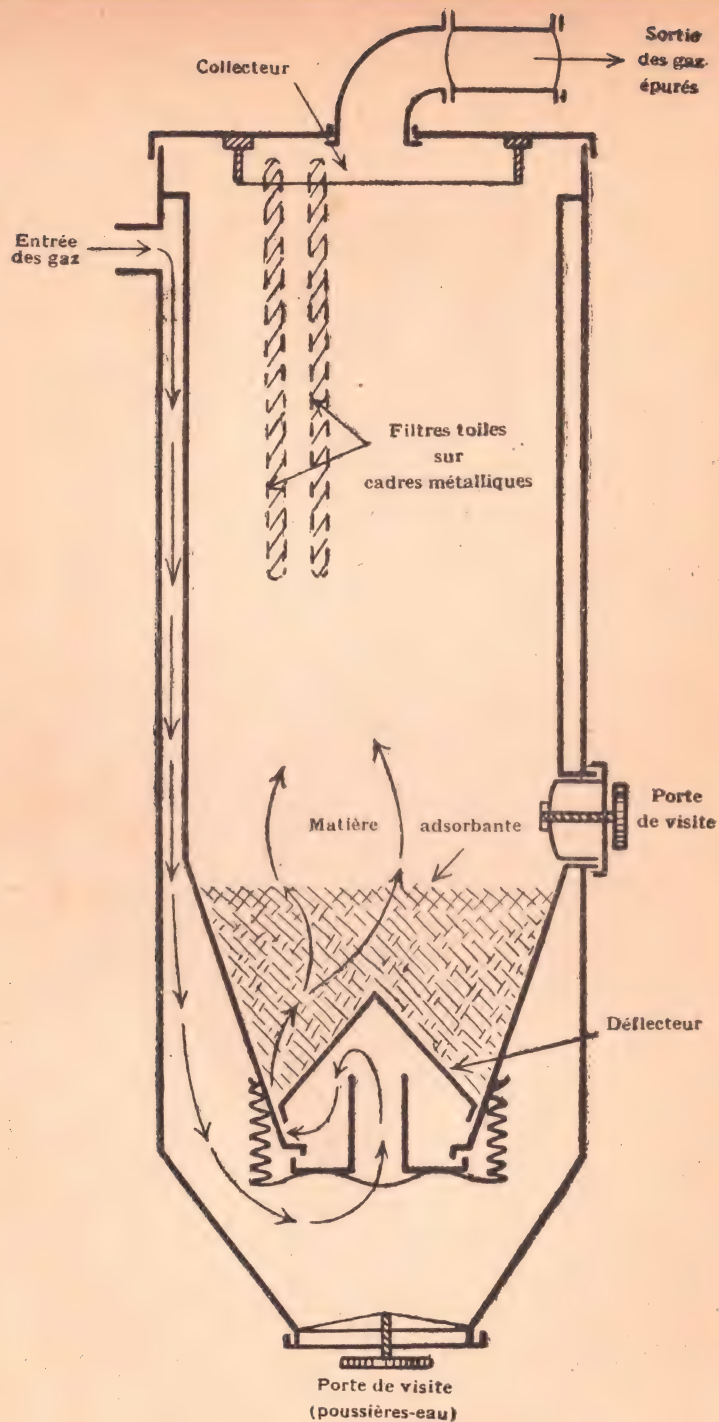


Fig. 14.

Epurateur GOHIN-POULENC

tombent dans le fond des poches. En dernier lieu, les gaz barbotent dans un bain d'huile. Les plus fines poussières y sont retenues, tandis que le gaz se charge de lubréfiant, avantage non négligeable (fig. 14 *bis*).

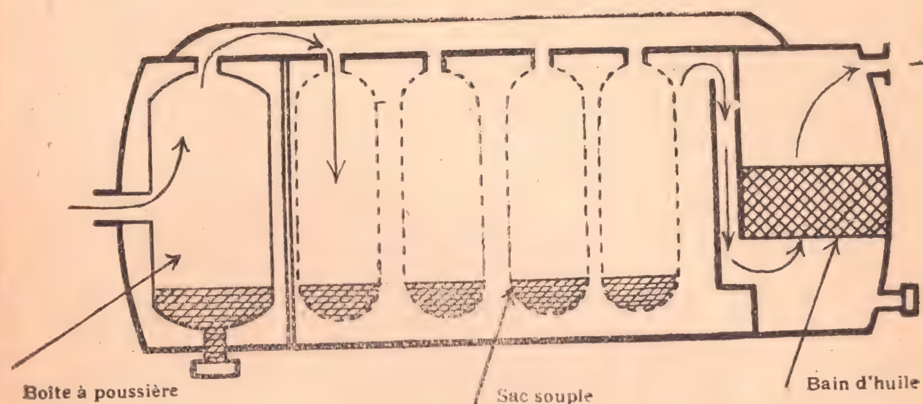


Fig. 14 *bis.*

Epurateur CARBOGAZ.

II

GAZOGENES A BOIS

Leur originalité vient de ce que le bois étant un complexe d'hydrates de carbone, il faut prévoir une zone de réduction vive *très étendue.*

GENERATEUR BERLIET

Il est constitué (voir fig. 15) par une double enveloppe en tôle. La tôle intérieure se rétrécit au point d'arrivée d'air et s'évase à nouveau dans la zone de réduction.

Arrivée d'air.

L'air est appelé dans un espace annulaire, entourant le foyer, et dans lequel s'opère un certain réchauffement. Il pénètre dans le foyer par une série de buses disposées régulièrement sur cet anneau. Les buses ne pénètrent pas dans le foyer et ne courent pas le risque de périr sous l'action des hautes températures.

Fonctionnement.

Le bois n'étant pas un corps réducteur, il est nécessaire de charger au départ avec de la braisette de boulanger. Les niveaux de cette braisette sont intérieurement en *a-b* et *extérieurement* en *c-d*. Il est essentiel, pour le bon fonctionnement du générateur Berliet, que les deux niveaux soient respectés. C'est dans cette zone que le gaz CO^2 et les vapeurs d'eau, de goudron et de pyroligneux seront réduits. Ce détail, que nous soulignons, montre bien l'importance de l'épuration massive qui se produit dans le générateur lui-même et la différence essentielle existant entre générateurs à charbon et à bois. Le chargement s'achève au bois. Le

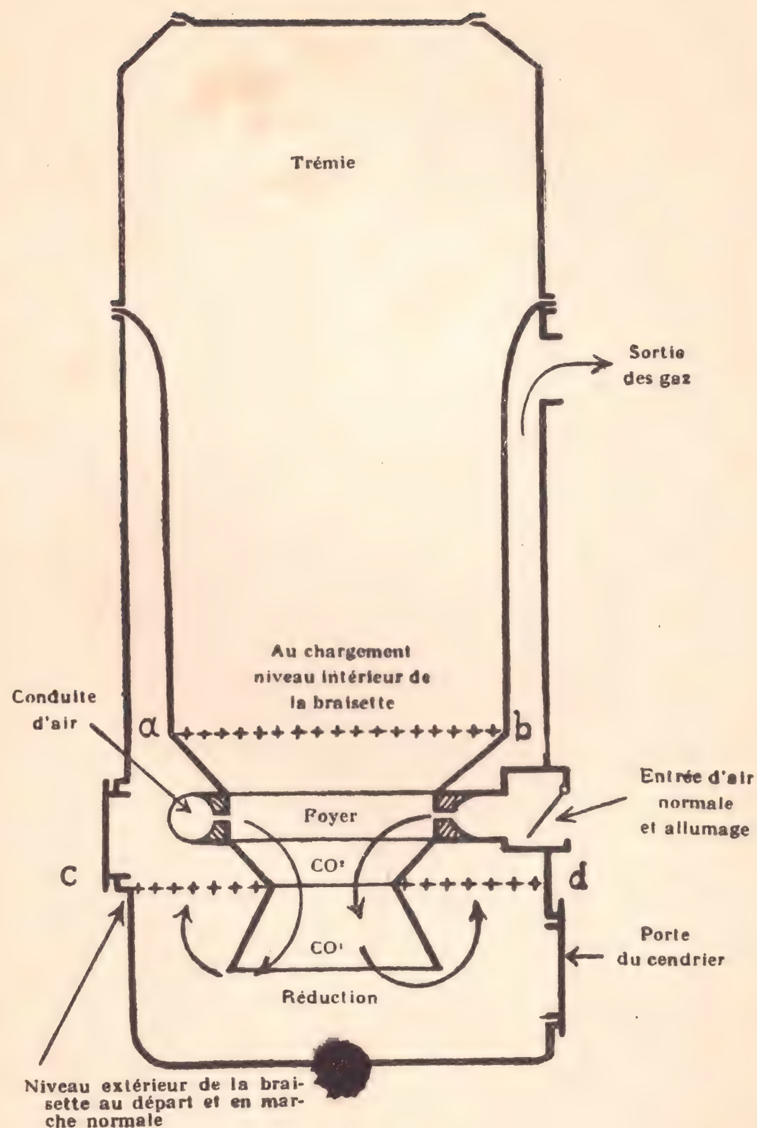


Fig. 15.

Générateur **BERLIET**

générateur étant allumé, le fonctionnement est comparable initialement à celui d'un générateur à charbon de bois. Mais, dans la trémie, le bois subit toutes les transformations que nous avons indiquées dans notre chapitre de généralités; de telle sorte que la braisette se trouve peu à peu remplacée par le charbon provenant du bois de chargement.

L'aspiration des gaz se faisant par l'espace annulaire ménagé entre les deux tôles, les gaz de distillation traversent le foyer et la grande zone de réduction, où ils sont décomposés. Ici encore, nous avons le type à tirage renversé.

Refroidisseur.

Cet appareil utilise pour le refroidissement la détente des gaz. Il est constitué par une série de trois à quatre caissons métalliques, que les gaz parcourent successivement. Dans le premier caisson, le gaz se détend, la vapeur d'eau se condense et les grosses poussières (les cendres aussi) tombent dans le fond du caisson. Dans les caissons 2, 3 et 4 sont disposées des plaques en tôle perforée, dont les trous ne sont pas en regard et le diamètre de plus en plus petit. Ce système de marche contrariée facilite le refroidissement, le dépoussiérage et la condensation de l'eau. Cette eau de condensation est vidangée naturellement aux arrêts du véhicule, l'aspiration ne jouant plus.

Epurateur (fig. 16).

Il est constitué par un cylindre vertical en tôle, divisé en trois sections par deux grilles. La première section est la suite du refroidisseur et a le même rôle. La première et la deuxième grille supportent chacune une couche épaisse de petits cylindres en tôle mince appelés anneaux de Raschig. Entre ces deux couches se trouve une chambre de détente. Le gaz, entrant de bas en haut, subit trois détentes successives. Entre ces

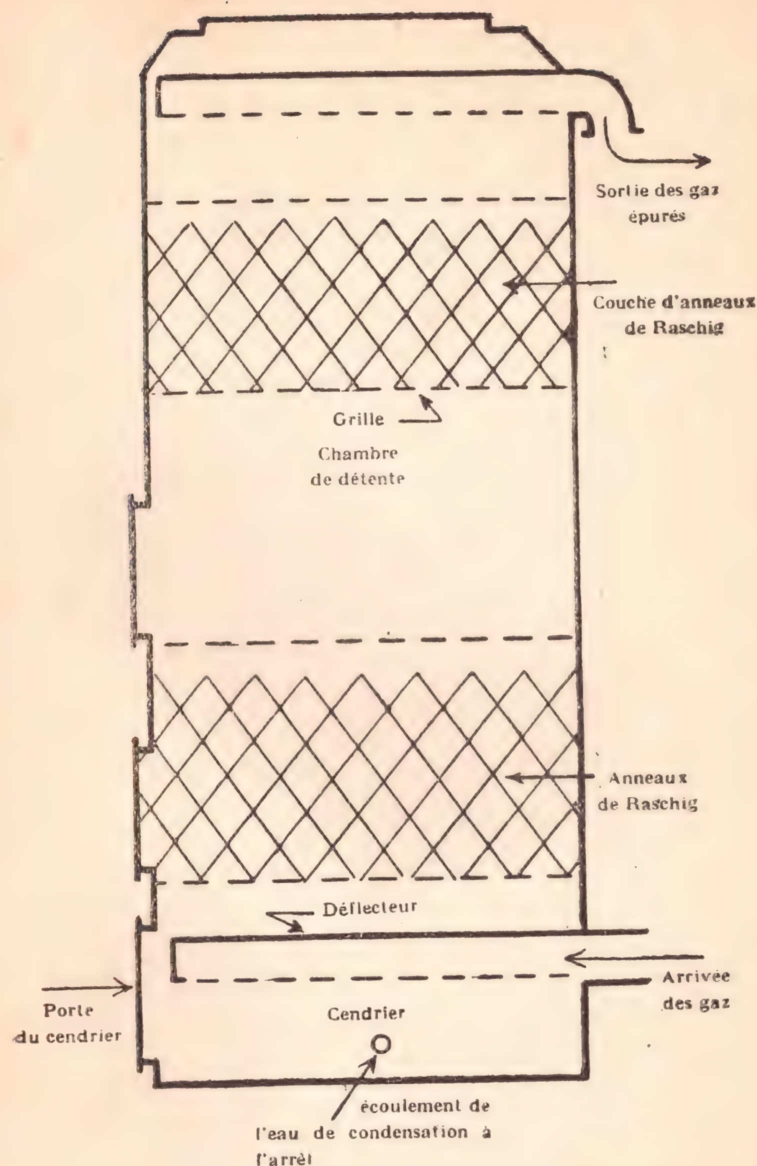


Fig. 16.

Epurateur BERLIET

détentes, il passe à travers les couches d'anneaux de Raschig, formant chicane. Dans les deux zones, les gaz sont séchés, les poussières retenues, puis entraînées vers le bas de l'épurateur par l'eau de condensation. On peut remplacer ces anneaux par des grains de liège ou du coke.

GAZOGENE DE DION-BOUTON (Licence BRANDT)

Description (voir figure 17).

Le générateur comporte une trémie à bois en tôle, très large, avec une partie inférieure conique qui la raccorde au foyer à revêtement réfractaire. Au centre de la trémie descend une colonne en tôle destinée à être remplie de charbon et dite colonne de réduction (autour de la partie supérieure de la colonne de réduction existe un circuit de réfrigération par air).

Orifices.

Porte de chargement du bois (A et A');
Porte de chargement de la colonne de réduction (B);
Porte d'allumage (C);
Arrivée d'air normale par tuyères descendant le long de la colonne de réduction (E);
Sortie des gaz (sur la colonne de réduction F).

FONCTIONNEMENT

Au départ, on charge jusqu'en haut de charbon de bois la colonne de réduction, puis on remplit la trémie latérale de bois. On allume le générateur par le procédé habituel d'aspiration artificielle et on établit ensuite la marche normale, c'est-à-dire qu'on ferme la porte d'allumage et que l'air d'alimentation arrive au foyer par les tuyères. Etant donnée la situation centrale de la colonne de réduction, le charbon est porté au rouge jusqu'à mi-hauteur. Les produits gazeux distillés dans la trémie à

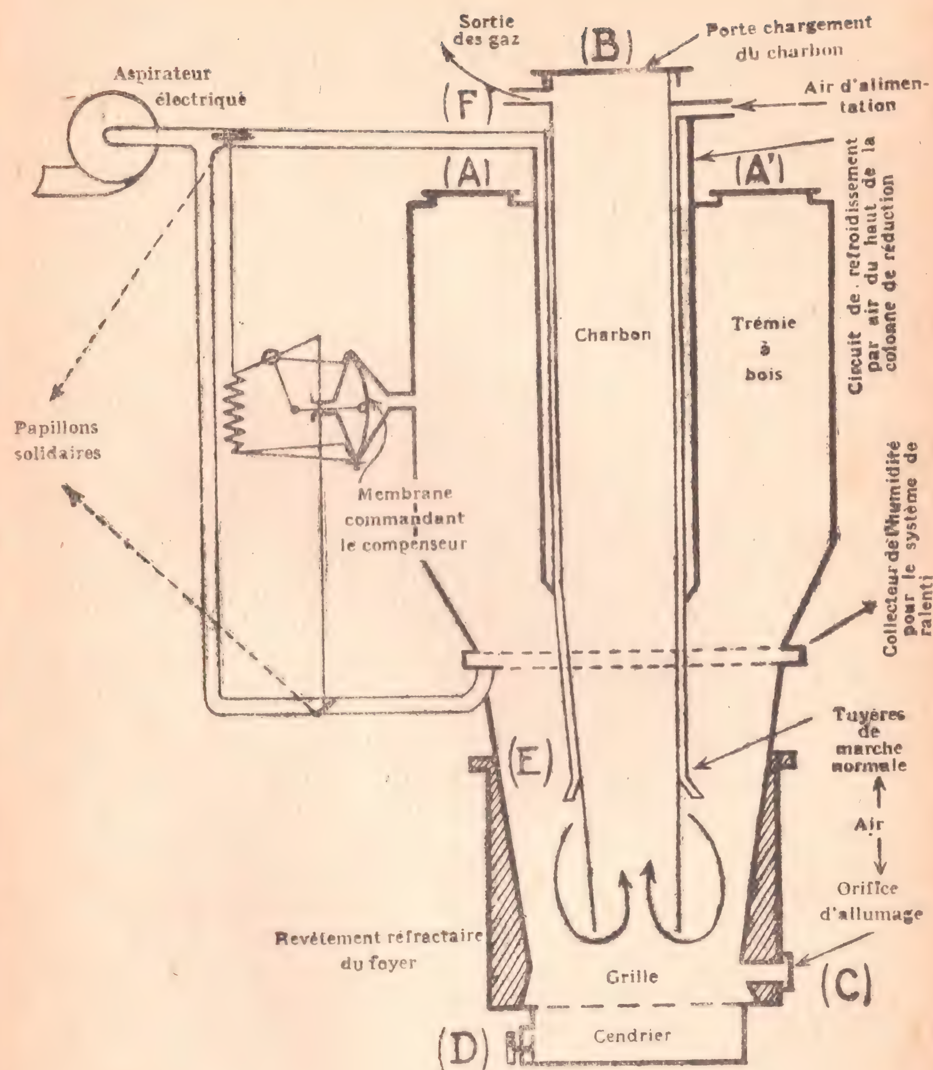


Fig. 17.

Générateur à bois DE DION-BOUTON et système de ralenti automatique

bois, et le CO^2 provenant de la combustion du bois contournent la tôle de la colonne centrale et parcourent celle-ci de bas en haut, où ils sont respectivement réduits ou dissociés. On voit, sur la figure, que la zone de réduction est ici encore plus importante que dans le gazogène Berliet, puisqu'elle comprend également, en plus de la colonne de réduction, la presque totalité du foyer réfractaire. L'épuration doit être normalement plus complète. Effectivement, dans le gazogène de Dion, il est possible et courant d'utiliser comme combustible du bois vert.

Remarquons encore que, dans le gazogène de Dion, le tirage est renversé.

Il faut, évidemment, considérer le bois de la trémie et non la colonne de réduction. Dans la colonne de réduction, le tirage est direct. Mais c'est le bois qui est le combustible et non le charbon. Toutefois, cette marche descendante du charbon de la colonne de réduction présente un avantage incontestable : celui de réentraîner dans le foyer, pour y être brûlées, les particules liquides ou gazeuses des produits nocifs qui ont été absorbées par le charbon de la partie supérieure de la colonne.

CONSIDERATIONS PARTICULIERES SUR LES GAZOGENES A BOIS

MISE EN VEILLEUSE. — RALENTI

Un générateur est dit « en veilleuse » lorsque, le moteur étant arrêté, on veut maintenir la combustion dans le foyer pour pouvoir repartir sans un nouvel allumage.

Pour les gazogènes à charbon de bois, les problèmes de la mise en veilleuse et du ralenti sont simples, ce combustible contenant très peu d'eau. Il est possible, après un arrêt de quinze à vingt minutes, de remettre le moteur en route sans aucune précaution spéciale. Si l'arrêt doit se prolonger au delà de ce laps de temps, il faut mettre le générateur en veilleuse.

Sur le Panhard, on ouvre la porte du cendrier et le starter d'allumage; sur le Gohin-Poulenc, on ouvre la porte de chargement du combustible. Dans les deux cas, il s'établit un *tirage direct suffisant* pour maintenir une combustion ralentie dans le foyer pendant plusieurs heures, si c'est utile.

Pour les gazogènes à bois, le problème du ralenti et de la mise en veilleuse sont d'une importance capitale.

1° Le ralenti.

L'aspiration n'ayant plus l'intensité de la marche normale, la quantité de calories dégagées par les réactions (1) et (2) diminue dans une proportion très forte, alors que la quantité d'eau distillée reste sensiblement la même. Quelques minutes de mise au ralenti suffisent pour que la réduction de l'eau traversant la grille, non seulement absorbe l'excès de calories fournies par les réactions couplées (1) et (2), mais encore absorbe toute la réserve de calories du foyer. La température s'abaisse rapidement et le foyer peut s'éteindre.

Pour cette raison, Berliet recommande d'utiliser, dans son générateur, du bois ayant six à sept mois de séchage à l'abri de l'humidité.

Sur le générateur de Dion, destiné à brûler du bois vert, le problème du ralenti ne se pose même plus : la marche au ralenti est impossible, malgré l'importance du foyer et de la zone de réduction. Les phénomènes décrits plus haut (prédominance de la réaction de réduction de l'eau sur les réactions (1) et (2), abaissement de température) se produisent dans un temps tellement réduit (3 à 4 minutes) qu'il n'est plus possible de repartir. D'autant plus que, au moment de la reprise (si elle était possible), la vapeur d'eau, qui s'était condensée près de son point d'ébullition, se vaporise presque instantanément à la faveur de la forte dépression due à la forte aspiration du moteur. Cette vapeur d'eau, arrivant massive sur le foyer, achève de l'éteindre.

2° Mise en veilleuse.

Sur le Berliet, il n'existe pas de dispositif de mise en veilleuse.

Sur le de Dion (fig. 17), le système est automatique et commandé par la pression intérieure qui règne dans le générateur. Ce système est constitué par un électro-ventilateur pouvant aspirer, d'une part, l'air du circuit de refroidissement du haut de la colonne de réduction; d'autre part, les produits gazeux provenant de la distillation du bois (surtout eau).

Deux papillons solidaires commandent les tubulures d'amenée de l'air de réfrigération et des produits gazeux. Lorsque l'un est ouvert, l'autre est fermé. La commande des deux papillons est assurée par une membrane élastique soumise, sur l'une de ses faces, à la dépression qui règne dans la trémie. Dès que la dépression cesse d'agir (ralenti) sur la membrane, elle reprend sa position normale sous l'action d'un ressort antagoniste et, par un système à leviers, ferme le papillon d'air et ouvre le papillon des produits gazeux qui sont rejetés à l'extérieur sans passer par le foyer. Dès que l'on accélère, la membrane reprend sa position (1) et ainsi de suite.

Rechargement des gazogènes à bois.

Pour obtenir un bon fonctionnement du générateur, le bois arrivant au foyer doit avoir, au préalable, subi une distillation qui l'a transformé en charbon. Il est donc essentiel de recharger la trémie en temps voulu. Si ce rechargement est fait trop tardivement, le bois est imparfaitement distillé et la zone de réduction se trouve garnie par du charbon roux, voire du bois déshydraté. Cette zone ne peut plus remplir son rôle et le fonctionnement est mauvais.

Adaptation du moteur à essence

Avant d'aborder ce problème proprement dit, nous décrirons rapidement les organes d'admission des gaz aux moteurs.

Nous rappellerons ensuite un certain nombre de données théoriques et pratiques (sans en fournir la démonstration ou la justification) que le lecteur doit connaître pour la bonne compréhension des transformations à apporter à un véhicule à essence adaptable au gaz des forêts.

I. — LES MELANGEURS

PRINCIPE DES MELANGEURS ET DEFINITIONS

Le mélangeur est, dans le moteur à gaz, l'équivalent du carburateur dans le moteur à essence. Son rôle est d'assurer, d'abord, le mélange du gaz combustible avec l'air comburant et, en deuxième lieu, d'assurer l'admission du mélange tonnant en quantité proportionnelle à l'effort demandé au moteur.

Un mélangeur comporte (fig. 19) :

1° Une conduite d'amenée du gaz combustible et une conduite d'amenée de l'air secondaire (c'est-à-dire de l'air comburant).

2° Une chambre où se jettent les deux conduites précitées et dans laquelle se fait le mélange air-gaz.

3° Un papillon commandant l'arrivée de l'air secondaire. Bien que le mélange se fasse normalement à volu-

mes égaux, il faut prévoir certains cas d'enrichissement du mélange tonnant (départ et côtes).

4° Un papillon de réglage de la puissance commandant l'admission du mélange tonnant au moteur.

Notons que la prise d'air secondaire se fait toujours en dehors du capot afin que le moteur soit alimenté avec du gaz à la plus basse température possible.

CARBURATEUR ET MELANGEUR

La plupart des véhicules à gazogène sont prévus pour la marche à l'essence dans trois cas :

1° Au départ (départ sans l'aspirateur électrique);

2° Dans les moments de grande résistance à vaincre;

3° Pour de petits déplacements qui ne méritent pas l'allumage du générateur.

Il faut donc prévoir soit un carburateur aboutissant sur la pipe d'arrivée des gaz aux cylindres, soit un appareil combinant le mélangeur et le carburateur. En quelque sorte l'aspiration du moteur doit pouvoir jouer séparément sur l'essence (carburateur auxiliaire) et sur les gaz (mélangeur), ou simultanément sur l'essence et le gaz (cas du départ sans l'aspirateur électrique).

A cet effet, il existe plusieurs dispositifs de principes voisins. Nous allons décrire le plus courant : le dispositif à boisseau dit du robinet à trois voies.

Un boisseau creux communique en bout avec le moteur. Il peut, en tournant sur son axe longitudinal, présenter une fenêtre latérale alternativement sur la dérivation essence et sur la dérivation gaz ou sur les deux à la fois. Un tel appareil peut comporter deux papillons de puissance, le plus souvent solidaires : un sur le carburateur, un sur le mélangeur (fig. 19).

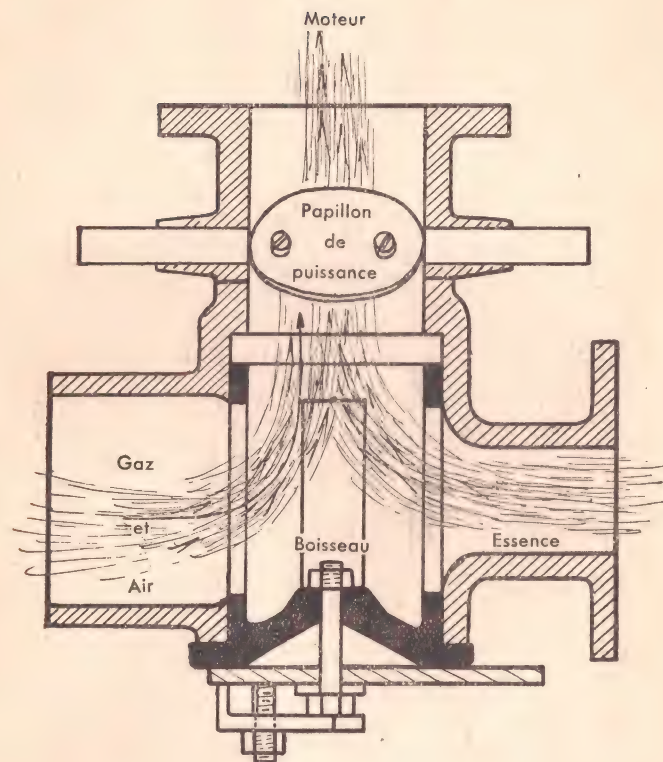


Fig. 18.

Mélangeur Carbogaz.

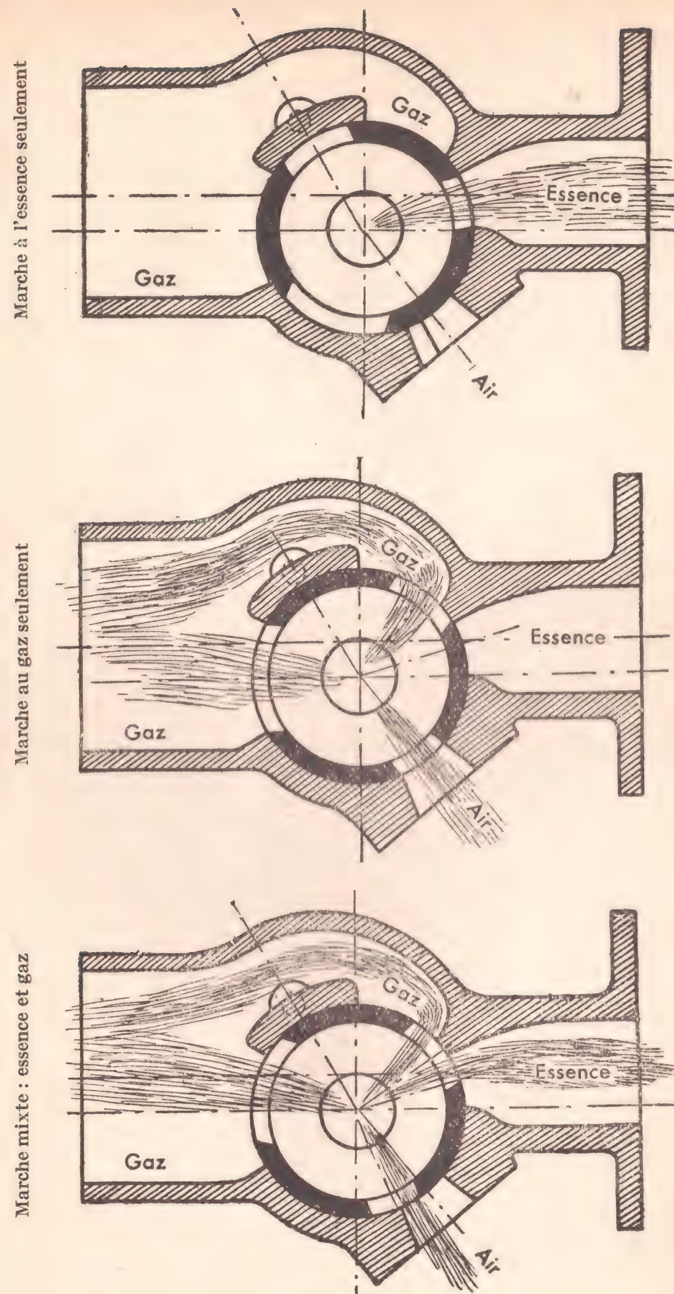


Fig. 18 bis.

Mélangeur Carbogaz.
Les trois positions du boisseau.

Mélangeur Panhard (fig. 19).

Ce mélangeur utilise le dispositif du robinet à trois voies. Il possède un système de ralenti automatique : l'amenée d'air secondaire comporte une dérivation qui se trouve fermée par un onglet (dépendant du papillon de puissance) en position de ralenti. Le mélange tonnant est donc enrichi à ce moment d'aspiration moindre.

Mélangeur Gohin-Poulenc (fig. 20).

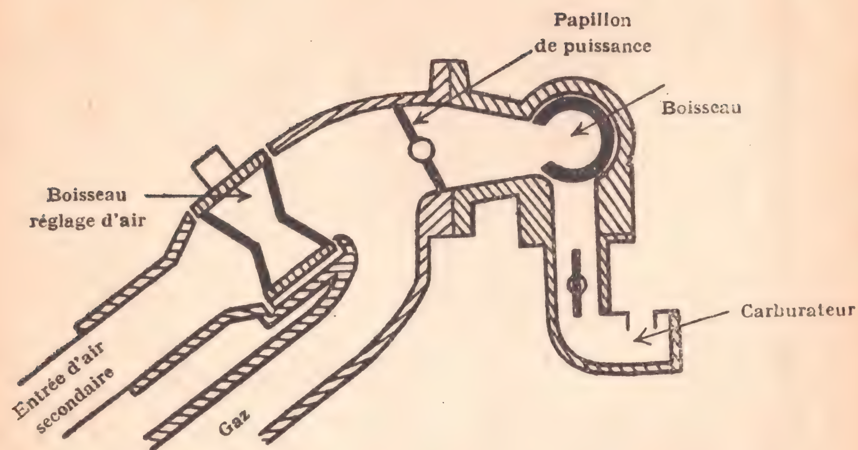
Très simple, il présente l'avantage d'avoir les deux papillons (puissance gaz et entrée d'air secondaire) solidaires. De telle façon qu'ils s'ouvrent et se ferment simultanément. Par ce système, on évite le calage du moteur au moment du ralenti, l'air étant toujours en quantité proportionnée à celle du gaz.

En outre, une butée sur le papillon d'air secondaire limite cette entrée au moment de l'accélération maximum.

La conduite d'essence est absolument indépendante du mélangeur. Son papillon de puissance dépend d'un accélérateur à main.

Mélangeur Berliet (Licence Imbert-de Dietrich) (fig. 21).

Il est formé par la réunion de quatre tubulures : amenée d'air avec cône mélangeur, amenée du gaz, dérivation de l'aspirateur, amenée du mélange tonnant vers le moteur. Chacune de ces tubulures est commandée par un papillon. La conduite d'essence est branchée sur la pipe d'admission, mais son papillon de puissance est solidaire du papillon de puissance-gaz.



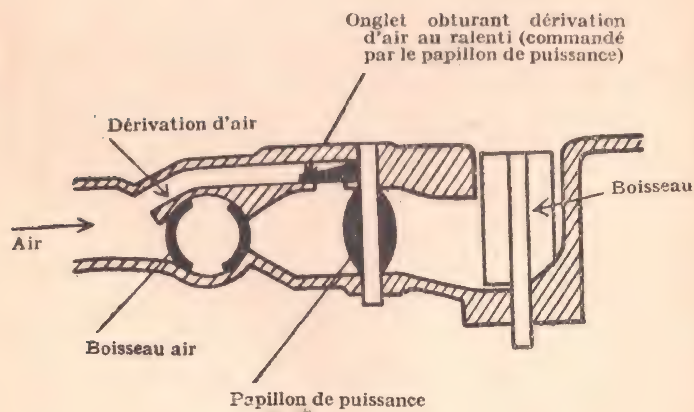


Fig. 19.

Mélangeur PANHARD

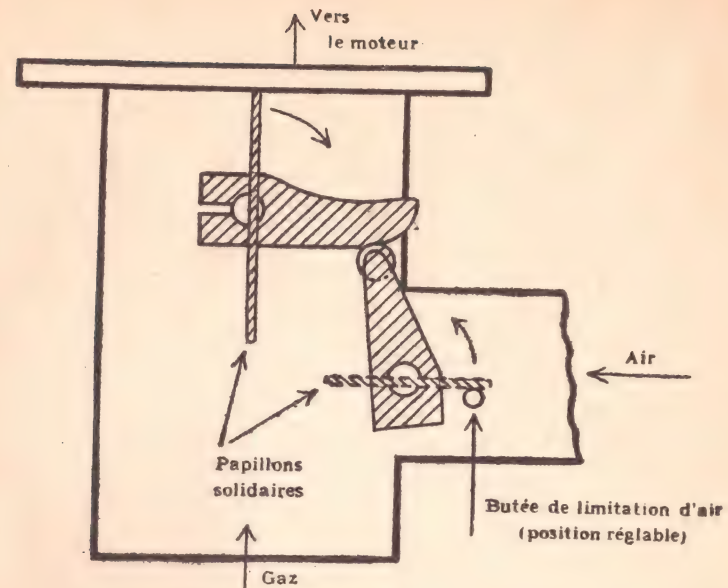


Fig. 20.

Mélangeur GOHIN-POULENC.

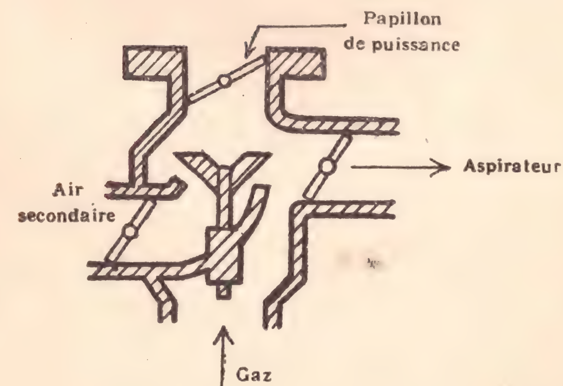


Fig. 21.

Mélangeur BERLIET.

LES COMMANDES D'UN VEHICULE A GAZOGENE

En dehors des commandes qui existent sur un véhicule automobile à essence, nous trouvons :

1° Une commande agissant sur le boisseau d'admission des gaz au moteur (position essence, position gaz, position intermédiaire essence-gaz);

2° Commande d'air additionnelle; très importante et dont le conducteur doit jouer souvent pour obtenir un bon dosage du mélange air-gaz et, par conséquent, pour obtenir un bon rendement du moteur;

3° Un commutateur commandant la mise en route de l'aspirateur d'allumage; et, en outre, une commande permettant d'ouvrir plus ou moins l'ouïe de refoulement de cet aspirateur;

4° Commande d'avance à l'allumage (cette commande d'avance à l'allumage est parfois combinée avec la commande 1);

5° Un dispositif du réglage du ralenti agissant sur les commandes d'accélération.

Sur le Gohin-Poulenc, nous avons, en outre, une commande d'accélération à main qui agit sur le papillon de puissance de marche à l'essence.

II. — RAPPEL DES DONNEES INDISPENSABLES

1° Combustion d'un mélange tonnant (Essence-Air et Gaz des forêts-Air).

La combustion d'un tel mélange n'est jamais instantanée, quoique très rapide. Sa vitesse dépend de la richesse du mélange. Le gaz des forêts ayant un pouvoir calorifique moindre que celui de la vapeur d'essence, la propagation de l'explosion se fera plus lentement et il faudra prévoir une plus grande avance à l'allumage.

Le conducteur passant de la marche à l'essence à la marche au gaz ne devra pas oublier d'augmenter son avance sous peine de voir son moteur donner un mauvais rendement, voire s'arrêter.

Souvent, pour éviter la défaillance du conducteur, les constructeurs rendent solidaires les commandes d'avance à l'allumage et essence-gaz.

2° Equivalent mécanique de la calorie.

Une calorie produit 425 kilogrammètres.

635 calories équivalent à 1 cheval vapeur-heure.

3° Pouvoirs calorifiques.

a) Essence-air	850 calories.
b) Gaz des forêts.........	550 —
c) Essence (au litre)......	7.600 —
d) Charbon de bois (kg.)..	7.500 —
e) Bois	3.000 à 3.500 calories (suivant l'humidité).

4° Définitions diverses (pour mémoire).

Alésage. — Cylindrée. — Cylindrée commerciale. — Taux de compression.

5° Rendement thermique théorique.

Ce rendement théorique est fonction du seul taux de compression. Il est utile de donner un tableau de ce rendement en fonction du taux de compression.

Taux	4	6	8	10
Rendement %...........	33	41,6	46,5	49,9

Rendement du cylindre.

Il est fonction des laminages des gaz aux soupapes, des pertes de calories par conduction, des fuites, etc... Ce

rendement est, dans un moteur à essence, de l'ordre de 0,8.

Rendement organique du moteur.

Il est fonction des frottements divers dans les organes accessoires : commandes diverses, aspirateur, pompe, frottements. Il est également de 0,8.

Rendement net.

Formule : Rendement net = rendement théorique × rendement du cylindre × rendement organique.

Pratiquement, dans un moteur à essence :

Rendement net = rendement théorique × 0,8 × 0,8;
= rendement théorique × 0,64.

III. — ADAPTATION D'UN VEHICULE A LA MARCHE AU GAZ

PUISSANCE D'UN MOTEUR ALIMENTE AU GAZ DES FORETS

La puissance d'un moteur à explosion dépend de la richesse du mélange introduit dans le cylindre. Supposant toutes choses égales (c'est-à-dire même cylindrée, même taux de compression, même vitesse de rotation, même rendement organique et de cylindrée), le même moteur, alimenté d'une part au gaz, d'autre part à l'essence, fournira sur l'arbre deux puissances dont le rapport sera celui des pouvoirs calorifiques des deux mélanges, soit :

$$\frac{550}{850} = 0,65.$$

La perte de puissance déterminée par l'alimentation au gaz de charbon atteint 35 %.

FACTEURS D'AMELIORATION DE CE RENDEMENT

Cette perte de puissance de 35 % est trop élevée pour que l'opération soit intéressante. Mais, avec quelques transformations du moteur, on arrive à l'améliorer très sensiblement. L'adaptation, suivie de transformations simples de certains organes, est indispensable et donne de bons résultats.

Les facteurs théoriques de l'amélioration de ce rendement sont au nombre de deux : 1° introduction d'une plus grande quantité de calories dans les cylindres; 2° augmentation du rendement théorique en élevant le taux de compression.

I. — Introduction d'une plus grande quantité de calories.

On peut et l'on doit :

a) Augmenter la cylindrée par réalésage ou rechemisage;

b) Atténuer au mieux les pertes de charge dans les tuyauteries, les laminages des gaz aux soupapes.

Pour cela, on choisira des tuyaux d'amenée des gaz de gros diamètres faisant le moins de coudes possibles. Les soupapes existantes seront remplacées par des soupapes de plus grand diamètre. L'arbre à came qui les commande sera muni de nouvelles cames augmentant l'ouverture et accélérant les vitesses de levée et de chute. Il sera intéressant de prendre un système culbuté dont le rendement est nettement supérieur.

c) Accélérer la vitesse de rotation du moteur par démultiplication du pont arrière, ce qui augmente la cylindrée minute.

d) Refroidir au maximum les gaz introduits dans les cylindres (refroidisseur, prise d'air secondaire hors du capot).

II. — Augmentation du rendement théorique.

Ce rendement dépend du seul taux de compression (voir tableau). Le taux de compression est donné par la formule :

$$t = 1 + \frac{V}{v},$$

dans laquelle :

V = volume balayé par le piston;
v = volume résiduel entre tête de piston et culasse.

Il faut augmenter le rapport $\frac{V}{v}$, c'est-à-dire :

1° Augmenter V. Ceci est obtenu par le réalésage ou le rechemisage.

2° Diminuer v (il est plus facile d'agir sur v).

a) Remplacement de la tête du piston : plus haute et de forme différente;

b) Rehaussement de la tête du piston en soudant sur elle une plaque de même diamètre et d'une épaisseur déterminée;

c) Rabotage de la culasse.

Le taux de compression était limité, dans les moteurs à essence, à 5 et, avec une culasse spéciale de haute résistance, on pouvait le porter à 6. Le taux 6 ne pouvait être dépassé si on voulait éviter le phénomène d'autodétonation. Avec le gaz des forêts, on ne court pas ce risque et l'on peut sans danger le porter à 9,5 (taux du meilleur rendement). Avec un moteur adapté, il est difficile d'obtenir mieux que le chiffre 8. L'amélioration qui en résulte, si on suppose invariables le rendement de la cylindrée et le rendement organique, est, en passant du taux 6 au taux 8 :

Pour 6, rendement net : $41{,}6 \times 0{,}64 = 26{,}7\ \%$;

Pour 8, rendement net : $46{,}5 \times 0{,}64 = 29{,}8\ \%$.

REMARQUE SUR LA TRANSFORMATION DU MOTEUR DIESEL

Taux de compression. — Allumage.

Le Diesel diffère du moteur à essence sur deux points :

1° Son taux de compression ou rapport volumétrique se situe entre 15 et 30;

2° Il ne comporte pas de dispositif d'allumage.

Pour adapter un tel moteur à la marche au gaz, il est donc nécessaire :

1° De ramener le taux de compression à 10 (taux du meilleur rendement et qui ne doit pas être dépassé). On agira sur le seul volume résiduel v. Plusieurs procédés sont possibles ou préférables, suivant la marque du Diesel :

Sur le Saurer, on changera la culasse (voûte plus haute et comportant des bougies); sur le Berliet, on rabotera la tête du piston; sur le Renault, on combinera les deux opérations précédentes.

Enfin, si le taux était encore supérieur à 10, il serait possible de surélever le groupe par de petites cales, de telle façon que la course du piston dans le cylindre soit diminuée au bénéfice de v.

2° De placer l'appareil d'allumage : bougies et bobine. Cette transformation ne présente aucune difficulté, mais est relativement coûteuse.

A ce propos, nous pouvons noter que, pour un moteur à gaz des forêts (que l'on soit parti du Diesel ou du moteur à essence), il est préférable d'avoir un voltage de l'ordre de 18.000 et qu'il est nécessaire d'utiliser des bougies froides dont l'isolant extérieur ait une hauteur minimum de trois centimètres pour éviter que l'étincelle ne jaillisse au-dessus de la culasse.

Graissage.

Certaines maisons, comme Carbo-Gaz, constatant un dessèchement des guides des soupapes et des parois des cylindres, ont prévu à la sortie de l'épurateur un barbotage des gaz dans de l'huile (fig. 14 *bis*).

D'autres maisons montent un interlub, organe plus délicat et, de ce fait, moins pratique.

De toute façon, on pourrait, sans danger, ne pas modifier le graissage normal du moteur, l'emploi du gaz n'ayant pas d'effet sensiblement différent que le mélange essence-air.

VEHICULES AUTOMOBILES ADAPTABLES

Pour qu'un véhicule automobile soit adaptable, il est nécessaire qu'il ait déjà une puissance de l'ordre de 15 CV. En effet, le fait même de placer un générateur chargé de combustible, un refroidisseur, un épurateur, accroît la charge de la voiture. Cette charge équivaut largement à celle de deux personnes et l'on conçoit aisément que, sur une petite voiture à deux ou quatre places (Simca, 202, 302, etc.), ce surcroît de fatigue agisse très sensiblement sur la marche du véhicule.

Un moteur de faible cylindrée n'est pas adaptable dans la pratique. Il est impossible de le réaléser, et le taux de compression n'est améliorable que dans une très faible proportion. En tenant compte de la surcharge des appareils, on peut affirmer que la perte de puissance de la voiture est de l'ordre de 45 à 50 %.

L'idéal pour une adaptation est de posséder un moteur puissant, de grand alésage et de petite course; dans ce cas, le remplissage du cylindre est optimum. Ajoutons que les constructeurs de gazogènes n'envisagent pas l'adaptation sur des voitures ayant un alésage inférieur à 75 millimètres.

EVALUATION CHIFFREE DE L'INFLUENCE DES DIVERSES AMELIORATIONS ENVISAGEES

Ayant consulté un monteur de gazogènes, nous lui avons demandé quel était le type de voiture que l'on transformait le plus couramment. Il nous a donné comme type le camion Citroën P. 45.

Caractéristiques du P. 45 : 6 cylindres; alésage, 94; course, 110; charge utile (généralement), 8 tonnes.

1° *Introduction d'une plus grande quantité de calories* (les opérations correspondantes sont le rechemisage, la démultiplication du pont arrière, le changement de la pipe d'admission).

Par le rechemisage, la cylindrée commerciale

$$(Cy = \frac{\pi D^2}{4} \times C \times 6),$$

qui était de

$$\frac{3,14 \times (9,4)}{4} \times 11 \times 6 = 4.580 \text{ centimètres cubes,}$$

soit 4,58 litres, devient :

$$\frac{3,14 \times (10^2)}{4} \times 11 \times 6 = 5,180 \text{ centimètres cubes,}$$

soit 5,18 litres.

Par suite de la démultiplication du pont arrière, supposons que la vitesse de rotation atteigne 2.800 tours, contre 2.500 avant transformation.

Les cylindrées-minute sont respectivement :

Pour le P. 45 essence : $4,58 \times \frac{2.500}{2} = 5.725$ litres, soit 5 m^3 725;

Pour le P. 45 gaz : $\frac{5,18 \times 2.800}{2} = 7.250$ litres, soit 7 m^3 250.

Mais le remplissage n'est jamais parfait. Le coefficient de rendement du cylindre est de 0,8 pour l'essence et 0,9 pour le gaz, grâce à une pipe d'admission de gros diamètre et des soupapes plus larges.

Les quantités réelles de gaz introduites sont donc :

P. 45 essence............ $5.725 \times 0,8 = 4$ m^3 58;
P. 45 gaz................ $7.250 \times 0,9 = 6$ m^3 525.

Traduisons en nombre de calories, en multipliant les nombres précédents par le pouvoir calorifique des deux mélanges :

P. 45 essence............ $4{,}58 \times 850 = 3.893$ calories;
P. 45 gaz................ $6{,}52 \times 550 = 3.586$ —

Le rapport des puissances est égal (voir puissance d'un moteur alimenté au gaz) au quotient suivant :

$$\frac{3.586}{3.893} = 90\ \%\ \text{environ.}$$

On voit, par ce calcul simple, que notre perte de puissance est tombée de 35 % à 10 %. Ajoutons qu'il est exceptionnel de pouvoir gagner 6 millimètres sur le diamètre d'un cylindre; en général, on gagne 4 millimètres.

2° *Augmentation du taux de compression* (opérations correspondantes : rechemisage, pistons en aluminium de forme spécialement étudiée (fig. 22), rabotage de la culasse).

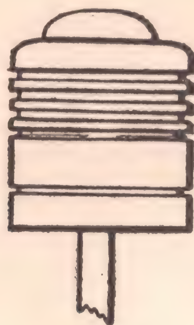


Fig. 22.
Tête de piston Bernard pour Citroën P. 45.

Le taux de compression, primitivement de 5,5, est porté à 7,5 environ. L'amélioration qui en résulte (voir tableau du rendement en fonction du taux de compression) se calcule facilement.

D'après le calcul précédent, quand il rentre 100 calories dans le P. 45 essence, il en rentre seulement 90 dans le P. 45 gaz. Les rendements nets respectifs s'établissent maintenant dans le rapport :

$$\frac{90 \times \text{rendement gaz}}{100 \times \text{rendement essence}} = \frac{90 \times 45}{100 \times 40} = 1\ \text{environ.}$$

On voit, par ces calculs, que le moteur du P. 45 gaz donne un rendement net sensiblement égal à celui du P. 45 essence.

Rappelons que cette transformation est exceptionnellement heureuse. D'ailleurs, comme le gaz fourni par le générateur n'est jamais constant en qualité et en quantité, on peut compter une perte réelle de puissance de l'ordre de 5 %. Dans la majorité des autres transformations, cette perte de puissance s'établit à 10 %.

RENDEMENT DE LA VOITURE

Sur un camion, la surcharge imposée par le gazogène peut être négligée, mais sur une voiture de tourisme, même puissante, elle intervient très sensiblement. Sans faire le calcul, on peut compter que le rendement de la voiture est diminué de 5 %. Pratiquement, c'est ce rendement qu'il faut considérer. On peut donc compter qu'une voiture de tourisme transformée a un rendement inférieur de 10 à 15 % sur la voiture primitive. Cette différence apparaît plus particulièrement dans les montées.

REPRISES

Sur une voiture à gazogène, les reprises sont toujours assez lentes. En effet, le générateur tire en fonction de l'aspiration du moteur. Quand on change de vitesse, le moteur va tourner plus vite, l'aspiration va augmenter et le gazogène fournira plus de gaz. Mais le générateur ne réagit pas instantanément. Il ne satisfera la nouvelle demande de gaz du moteur qu'avec un retard de plusieurs secondes. D'où la nécessité pratique : 1° de chan-

ger de vitesse bien avant qu'on ne le ferait sur une voiture à essence; 2° d'accélérer à fond après chaque changement de vitesse.

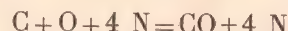
CALCUL DE LA CONSOMMATION HORAIRE DU P. 45 TRANSFORME.

Sa cylindrée-minute est de 6 m³ 50.

Sa cylindrée-heure est donc de 390 mètres cubes.

Supposant que le mélange de l'air secondaire et du gaz se fasse en parties égales, le volume de gaz du générateur absorbé en une heure est de $\frac{390}{2} = 195$ mètres cubes.

De la formule quantitative suivante :



$$C + O + 4\ N = CO + 4\ N$$

$$12\ \text{gr.} + 11\ \text{l.}\ 2 + 44\ \text{l.}\ 8 = 22\ \text{l.}\ 4 + 44\ \text{l.}\ 8 = 67\ \text{l.}\ 2$$

on en déduit, par une règle de trois, que 1 kilogramme de charbon fournit :

$$\frac{67{,}2 \times 1.000}{12} = 5.580 \text{ litres de gaz, soit } 5 \text{ m}^3\ 580.$$

Les opérations chimiques n'étant jamais parfaites, nous prendrons 5 mètres cubes comme chiffre de la production de gaz par kilo de charbon. La consommation horaire du P. 45 sera donc de :

$$\frac{195}{5} = 39 \text{ kilos.}$$

Ce qui correspond à environ 60 kilogrammes aux 100 kilomètres.

Remarque. — On suppose dans ce calcul que la commande d'accélération est toujours poussée à fond. Dans la pratique, l'accélérateur est rarement à fond de course, et par suite l'admission est réduite. On constate une consommation réelle de l'ordre de 50 kilos aux 100 kilomètres.

Considérations pratiques sur la conduite des véhicules à gazogènes

---

Mise en route et premiers kilomètres.

a) Sur tous les types de gazogènes on démarre avec le volet commandant l'admission de l'air secondaire fermé ou à peine entr'ouvert. On l'ouvre progressivement, lorsque le moteur commence à s'emballer. Pendant les premiers kilomètres sur route qui suivent l'allumage du générateur, on a encore intérêt à garder ce volet presque complètement fermé. En effet, le gazogène ne prend son régime normal qu'après un temps de l'ordre de quinze minutes. Cette position facilite la mise en régime par une plus grande aspiration sur le générateur.

b) Sur les véhicules ne comportant pas les commandes d'avance à l'allumage et essence-gaz solidaires, il ne faut pas oublier (dans le cas de la mise en route sur l'essence) de partir avec une avance à l'allumage à plein retard. Dès que l'on passe au gaz, augmenter nettement cette avance, et la porter au maximum après quelques kilomètres.

Conduite sur route.

a) Le réglage le plus délicat est celui de l'air secondaire. Il est impossible de donner à ce sujet des précisions; le conducteur ayant l'habitude d'un véhicule à

gazogène trouve, après quelques tâtonnements, la position du meilleur rendement. Ce réglage est très important. C'est de lui que dépend la bonne marche de la voiture.

b) Les vitesses doivent être passées plus tôt qu'à l'essence. La vitesse étant passée, le conducteur peut accélérer à fond sans craindre en aucun cas le cognement du moteur.

c) Dans les longues descentes, l'aspiration étant presque nulle, ne pas oublier de fermer le volet d'air secondaire pour augmenter le tirage forcé et maintenir une bonne opération chimique dans le générateur.

RECHERCHES DE PANNES SIMPLES DUES A UN MAUVAIS FONCTIONNEMENT DU GAZOGENE

a) **On s'assure toujours que le moteur peut tourner sur l'essence.**

Ceci est la preuve que le moteur est en bon état et que la panne provient bien du gazogène.

b) **Au départ on ne peut passer aux gaz.**

La qualité du gaz laisse à désirer. Il suffit de remettre l'aspirateur en marche et d'allumer les gaz à leur sortie de l'aspirateur. Si le gaz ne flambe pas, on continue la ventilation (gazogène mal allumé).

1° *Malgré la ventilation le gaz ne brûle toujours pas.*

CAUSES POSSIBLES	REMÈDES
Admission d'air primaire insuffisante, soit par suite de l'encrassement du foyer (cendres, scories), soit mauvais fonctionnement du dispositif d'admission d'air (clapet, volet coincés).	Décrassage du foyer et élimination des cendres et des scories. Remise en état du dispositif d'entrée d'air primaire.

CAUSES POSSIBLES	REMÈDES
Le combustible est trop humide et la réaction de la réduction de l'eau empêche l'allumage correct du foyer.	Remplacer le combustible.
Il s'est formé une voûte dans le foyer ou la zone de réduction.	Crever la voûte avec un ringard.

2° *Le gaz brûle difficilement.*

Mêmes causes que les précédentes, mais à un degré moindre.	Mêmes remèdes.

3° *Le gaz brûle avec une flamme pâle.*

Mauvaise admission d'air, foyer obstrué, dispositif d'admission déréglé.	Nettoyer le foyer. Régler le dispositif d'admission.

4° *Le gaz brûle fortement coloré en jaune et avec un léger ronflement.*

Rentrée d'air anormale.	Vérifier l'étanchéité des portes et des joints en promenant une torche autour des appareils; assurer l'étanchéité.

c) **En cours de route.**

1° *La température de la partie supérieure du générateur s'élève et la puissance baisse.*

Manque de combustible.	Recharger.
Rentrée d'air anormale qui étend la surface du foyer.	Vérifier l'étanchéité des portes.

2° *La température reste normale, mais la puissance baisse.*

CAUSES POSSIBLES	REMÈDES
La circulation des gaz est anormale : Admission d'air obstruée; foyer cendreux ou encrassé.	Nettoyer tuyère et foyer.
Filtre de sécurité obstrué.	Le remplacer et vérifier l'épurateur qui a dû mal fonctionner.
Filtre-toile colmaté après un rechargement.	Charbon trop humide, à remplacer.
Combustible mal calibré qui forme des voûtes.	Changer le combustible.

En résumé, nous pouvons dire que les remèdes consistent en un nettoyage de la partie active du générateur et à deux vérifications immédiates : étanchéité des portes et joints, propreté du filtre de sécurité (pierre de touche du bon fonctionnement des épurateurs).

La remise en état doit donc être rapide et simple autant que la recherche de la panne, s'il n'y a pas eu rupture d'un organe essentiel. Pour éviter ce dernier danger, on ne saurait trop conseiller un entretien journalier du foyer et une revision de l'ensemble du gazogène chaque mois ou après 3.000 kilomètres environ.

ENTRETIEN DES GAZOGENES

1° Chaque jour, il faut vider le cendrier.

2° Chaque semaine, on nettoie l'extérieur du gazogène avec une lance et on vérifie les épurateurs.

a) On examine le filtre de sécurité si l'épurateur en comporte un.

b) On vérifie la qualité de la matière épurante et les joints (les joints sont assurés par des rondelles de feutre enduites de graisse Belleville). On vide les boîtes à poussière.

c) On enlève au burin, s'il le faut, les scories qui ont pu se former dans le foyer.

3° Chaque mois, ou après 3.000 kilomètres, on refait les mêmes vérifications et opérations décrites précédemment, mais on a intérêt à examiner longuement, et dans le détail, les divers éléments du gazogène.

Par exemple, sur les gazogènes Panhard, on examine attentivement la matière réfractaire du foyer dans laquelle il a pu se produire des fissures. Les fissures seront obturées par un coulis de ciment réfractaire.

Sur le Berliet, on examine la tôle intérieure, qui, étant toujours soumise à une température élevée, peut être assez facilement détériorée.

Sur le Gohin et sur le Panhard, on examine attentivement les toiles filtrantes et le dépôt qui les couvre. Si elles sont colmatées, on peut être amené à calorifuger une partie du refroidisseur (le gaz arrive sur les toiles filtrantes à une température inférieure à 70°); ou bien, si le dépôt est constitué de poussières très fines et imperméables, on doit retirer une partie de la matière épurante qui remplit trop bien son rôle. Il faut, en effet, que des poussières relativement grosses soient arrêtées par les toiles. Dans ces conditions, le dépôt est hétérogène et garde sa perméabilité, même sous une épaisseur de plusieurs millimètres.

La couleur normale de ces poussières doit être brune. Si elle est blanchâtre, c'est que la matière épurante doit être changée.

Enfin, sur tous les types de gazogènes, il convient d'examiner les joints et l'étanchéité des portes.

IMPRIMERIE
REGIONALE
59, rue Bayard
TOULOUSE

ÉDITÉ PAR LE CENTRE D'ÉTUDES
DES GAZOGÈNES ET
DE LA CARBONISATION
15, rue du Japon - TOULOUSE

IMPRIMERIE REGIONALE
59, rue Bayard - Toulouse